



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES  
Y REDES**

**“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO DEL  
FILTRO DE HATCH EN ORDEN DE SUAVIZAR LOS ERRORES  
DE LAS MEDIDAS DE GPS PARA MEJORAR LA PRECISIÓN  
DEL POSICIONAMIENTO ESTANDAR.”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN: PROYECTO TÉCNICO**

**Para optar el Grado Académico de:**

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**AUTORA: CALLE JÁTIVA MARICELA DEL CARMEN**

**TUTORA: ING. MÓNICA ZABALA HARO**

Riobamba-Ecuador

2017

**@2017, Maricela del Carmen Calle Játiva**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozco el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: **“DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO DEL FILTRO DE HATCH EN ORDEN DE SUAVIZAR LOS ERRORES DE LAS MEDIDAS DE GPS PARA MEJORAR LA PRECISIÓN DEL POSICIONAMIENTO ESTÁNDAR”**, de responsabilidad del señorita: Maricela del Carmen Calle Játiva, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación quedando autorizada su presentación.

ING. WASHINGTON LUNA ENCALADA  
**DECANO DE LA FACULTAD DE  
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA** \_\_\_\_\_

ING. FRANKILN MORENO  
**DIRECTOR DE LA ESCUELA DE  
INGENIERIA ELECTRÓNICA,  
TELECOMUNICACIONES Y REDES** \_\_\_\_\_

ING. MÓNICA ZABALA HARO  
**DIRECTOR DE TESIS** \_\_\_\_\_

ING. OSWALDO MARTÍNEZ  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL** \_\_\_\_\_

Yo, Maricela del Carmen Calle Játiva soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual de la misma pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

---

Maricela del Carmen Calle Játiva

180326609-5

## **DEDICATORIA**

A mis abuelitos Luis Játiva y María del Carmen Gavilanes, por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo.

Las palabras no bastan para agradecerles por el apoyo incondicional brindado y este logro es de ustedes.

A mis profesores por haber compartido sus conocimientos que han aportado a mi crecimiento profesional y personal.

Maricela

## **AGRADECIMIENTO**

**A MI MADRE:** Elevación María Játiva por ser la promotora de mis sueños, gracias a ella por confiar y creer en mí y este logro es de ella ya que sin su ejemplo ya poyo no lo hubiera logrado.

**A MI TIA:** Bertha Játiva por ser mi segunda madre, amiga, consejera y brindarme todo su apoyo durante esta etapa de mi vida.

**A MI HERMANA:** Paulina Calle por ser mi ejemplo a seguir, por brindarme cariño, amistad y por darme lo más valioso de mi vida mi sobrino Josué David al que amo con mi vida.

**A MIS PROFESORES:** A los Ingenieros de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) en especial a la Ing. Mónica Zabala Haro e Ing. Oswaldo Martínez quienes con responsabilidad supieron guiarme para la culminación del trabajo de titulación.

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
ÍNDICES DE ABREVIATURAS .....	xv
RESUMEN .....	xvii
SUMMARY .....	xviii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I	
1 MARCO TEÓRICO .....	6
1.1 GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) .....	6
1.1.1 Introducción .....	6
1.1.2 Conceptos .....	6
1.1.3 Generalidades .....	8
1.1.4 Constelación de Satélites .....	9
1.2 GPS (Sistema de Posicionamiento Global) .....	12
1.2.1 Arquitectura .....	13
1.2.2 Tipos de Servicio de GPS .....	16
1.2.3 Señales en el Espacio SIS .....	16
1.2.4 Archivo RINEX .....	24
1.2.5 Fuentes de Errores .....	29

1.2.6	<i>Diferencial de GPS</i> .....	32
1.2.7	<i>Filtro de Hatch</i> .....	36
1.2.8	<i>Estación Receptora Septentrio</i> .....	40
<b>CAPITULO II</b>		
2	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	42
2.1	<b>Variables del Filtro de Hatch</b> .....	42
2.2	<i>Medida en una solo Frecuencia</i> .....	43
2.2.1	<i>Proceso de Portadora-Suavizada</i> .....	43
2.2.2	<i>Diagrama de Bloques del Filtro de Hatch</i> .....	45
2.3	<b>Tiempo Optimo (<math>\tau</math>)</b> .....	46
2.4	<b>Escenario del Filtro de Hatch</b> .....	47
2.5	<b>Desarrollo del código en el Software Matlab</b> .....	49
2.5.1	<i>Extracción de la Información de los Archivos RINEX</i> .....	49
2.5.2	<i>Llamado de la información en Matlab</i> .....	50
2.5.3	<i>Aplicación de la Técnica de Suavizado en frecuencia Simple</i> .....	50
<b>CAPITULO III</b>		
3	<b>MARCO DE RESULTADOS</b> .....	51
3.1	<b>Análisis del Algoritmo del Filtro de Hatch</b> .....	51
3.1.1	<i>Tiempo Optimo (<math>\tau=100</math>)</i> .....	51
3.1.2	<i>Tiempo Optimo (<math>\tau=500</math>)</i> .....	55
3.1.3	<i>Tiempo Optimo (<math>\tau=1000</math>)</i> .....	59
3.1.4	<i>Tiempo Optimo (<math>\tau=2000</math>)</i> .....	63
3.1.5	<i>Tiempo Optimo (<math>\tau=5000</math>)</i> .....	67



<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1</b>	Constelación GNSS.....	11
<b>Tabla 2-1</b>	Fuente y Efectos de los Errores.....	31
<b>Tabla 3-1</b>	Resumen de los Errores de GPS.....	31
<b>Tabla 4-1</b>	Ventajas y Desventajas del DGPS.....	35
<b>Tabla 5-1</b>	Especificaciones Técnicas de la Estación de Referencia.....	44
<b>Tabla 1-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 5 en $\tau=100$ .....	51
<b>Tabla 2-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 8 en $\tau=100$ .....	52
<b>Tabla 3-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 9 en $\tau=100$ .....	53
<b>Tabla 4-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite #15 en $\tau=100$ .....	54
<b>Tabla 5-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 5 en $\tau=500$ .....	55
<b>Tabla 6-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 8 en $\tau=500$ .....	56
<b>Tabla 7-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 9 en $\tau=500$ .....	57
<b>Tabla 8-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite #15 en $\tau=500$ .....	58
<b>Tabla 9-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 5 en $\tau=1000$ .....	59
<b>Tabla 10-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 8 en $\tau=1000$ .....	60
<b>Tabla 11-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 9 en $\tau=1000$ .....	61
<b>Tabla 12-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite #15 en $\tau=1000$ .....	62
<b>Tabla 13-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 5 en $\tau=2000$ .....	63
<b>Tabla 14-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 8 en $\tau=2000$ .....	64
<b>Tabla 15-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 9 en $\tau=2000$ .....	65
<b>Tabla 16-3</b>	Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite #15 en $\tau=2000$ .....	66

<b>Tabla 17-3</b> Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 5 en $\tau=5000$ .....	67
<b>Tabla 18-3</b> Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 8 en $\tau=5000$ .....	68
<b>Tabla 19-3</b> Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 9 en $\tau=5000$ .....	69
<b>Tabla 20-3</b> Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite #15 en $\tau=5000$ .....	70
<b>Tabla 21-3</b> Resumen de Resultados.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1</b>	Constelación de Satélites GPS.....	9
<b>Figura 2-1</b>	Constelación de Satélites GLONASS.....	9
<b>Figura 3-1</b>	Constelación de Satélites GALILEO.....	10
<b>Figura 4-1</b>	Constelación de Satélites BEIDOU.....	11
<b>Figura 5-1</b>	Segmento Espacial.....	13
<b>Figura 6-1</b>	Segmento de Control.....	13
<b>Figura 7-1</b>	Segmento Usuario.....	15
<b>Figura 8-1</b>	Señal L1 y L2 de GPS.....	17
<b>Figura 9-1</b>	Estructura de la Señal GPS.....	18
<b>Figura 10-1</b>	Esquema básico del retardo de la señal.....	20
<b>Figura 11-1</b>	Modelo de la Medición de Código .....	22
<b>Figura 12-1</b>	Modelo de Mediciones de la Fase de Portadora.....	24
<b>Figura 13-1</b>	Archivo RINEX.....	25
<b>Figura 14-1</b>	Archivo RINEX de Observación.....	28
<b>Figura 15-1</b>	Fuentes de Errores de la señal GPS.....	29
<b>Figura 16-1</b>	Sistema DGPS para Correcciones Simple.....	34
<b>Figura 17-1</b>	Sistema DGPS para Correcciones Dobles.....	34
<b>Figura 18-1</b>	Corrección Diferencial en Tiempo Real.....	36
<b>Figura 19-1</b>	Diagrama de Bloques del Filtro de Hatch.....	38
<b>Figura 20-1</b>	Estación de Recepción Septentrio.....	40
<b>Figura 1-2</b>	Diagrama del Filtro de Hatch.....	42
<b>Figura 2-2</b>	Diagrama de Bloques del Filtro de Hatch.....	46
<b>Figura 3-2</b>	Generación de la Señal L1.....	47

<b>Figura 4-2</b>	Señal de la fase de Portadora.....	48
<b>Figura 5-2</b>	Señales del Código de Portadora.....	48
<b>Figura 6-2</b>	Gráfica del Funcionamiento del Filtro de Hatch.....	49
<b>Figura 1-3</b>	Gráfica del satélite # 5 con Señal Original y Corregida $\tau=100$ .....	52
<b>Figura 2-3</b>	Gráfica del satélite # 8 con Señal Original y Corregida $\tau=100$ .....	53
<b>Figura 3-3</b>	Gráfica del satélite # 9 con Señal Original y Corregida $\tau=100$ .....	54
<b>Figura 4-3</b>	Gráfica del satélite # 15 con Señal Original y Corregida $\tau=100$ .....	55
<b>Figura 5-3</b>	Gráfica del satélite # 5 con Señal Original y Corregida $\tau=500$ .....	56
<b>Figura 6-3</b>	Gráfica del satélite # 8 con Señal Original y Corregida $\tau=500$ .....	57
<b>Figura 7-3</b>	Gráfica del satélite # 9 con Señal Original y Corregida $\tau=500$ .....	58
<b>Figura 8-3</b>	Gráfica del satélite # 15 con Señal Original y Corregida $\tau=500$ .....	59
<b>Figura 9-3</b>	Gráfica del satélite # 5 con Señal Original y Corregida $\tau=1000$ .....	60
<b>Figura 10-3</b>	Gráfica del satélite # 8 con Señal Original y Corregida $\tau=1000$ .....	61
<b>Figura 11-3</b>	Gráfica del satélite # 9 con Señal Original y Corregida $\tau=1000$ .....	62
<b>Figura 12-3</b>	Gráfica del satélite # 15 con Señal Original y Corregida $\tau=1000$ .....	63
<b>Figura 13-3</b>	Gráfica del satélite # 5 con Señal Original y Corregida $\tau=2000$ .....	64
<b>Figura 14-3</b>	Gráfica del satélite # 8 con Señal Original y Corregida $\tau=2000$ .....	65
<b>Figura 15-3</b>	Gráfica del satélite # 9 con Señal Original y Corregida $\tau=2000$ .....	66
<b>Figura 16-3</b>	Gráfica del satélite # 15 con Señal Original y Corregida $\tau=2000$ .....	67
<b>Figura 17-3</b>	Gráfica del satélite # 5 con Señal Original y Corregida $\tau=5000$ .....	68
<b>Figura 18-3</b>	Gráfica del satélite # 8 con Señal Original y Corregida $\tau=5000$ .....	69
<b>Figura 19-3</b>	Gráfica del satélite # 9 con Señal Original y Corregida $\tau=5000$ .....	70
<b>Figura 20-3</b>	Gráfica del satélite # 15 con Señal Original y Corregida $\tau=5000$ .....	71

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** TABLA DE LOS ARCHIVOS RINEX

**ANEXO B:** GRÁFICA DE LOS SATÉLITES RESTANTES

**ANEXO C:** CÓDIGO DE MATLAB

## ÍNDICES DE ABREVIATURAS

<b>AMCS</b>	Estación de Control Maestra Alternativa
<b>BPSK</b>	Binary Phase Shift Keying (Codificación de Desplazamiento de Fase Binaria)
<b>DGPS</b>	Diferencial Sistema de Posicionamiento Global
<b>DoD</b>	Departamento de Defensa de los Estados Unidos
<b>DSSS</b>	Espectro Ensanchado por Secuencia Directa
<b>GLONASS</b>	Global Navigation Satellite System (Sistema Global De Navegación Por Satélite desarrollado por la Unión Soviética)
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite Systems (Sistema Global De Navegación Por Satélite)
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamiento Global
<b>GPST</b>	Tiempo del Sistema GPS o Sistema de Transmisión
<b>ICAO</b>	The International Civil Aviation Organization
<b>MCS</b>	Master Control Station (Estación de Control Principal)
<b>MEO</b>	Medium Earth Orbit (Órbita Circular Intermedia)
<b>MSF</b>	Servicio de Posicionamiento Estándar
<b>NGA</b>	National Geospatial – Intelligence Agency (Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial)
<b>PPP</b>	Precisión de la Posición de un Punto
<b>PPS</b>	Precise Positioning Service (Servicio de Posicionamiento Preciso)
<b>PRC</b>	Pseudorange Corrección
<b>PRN</b>	Pseudo-Random Noise (Ruido Pseudoaleatorio)
<b>REGME</b>	Red GNSS de Monitoreo Continua de Ecuador
<b>RINEX</b>	Receiver INdependent Exchange Format (Formato de Intercambio Independiente del Receptor)

<b>SIS</b>	Signal In Space (Señal en el Espacio)
<b>SPP</b>	Punto de Posicionamiento Estándar
<b>SPS</b>	Standar Positioning Service (Servicio de Posicionamiento Estándar)
<b>USAF</b>	Fuerza Aérea de los Estados Unidos
<b>WAAS</b>	Wide Area Augmentation System (Amplio Sistema de Aumento de Area)



## RESUMEN

Este trabajo de titulación tuvo como objetivo el desarrollo e implementación del Filtro de Hatch para suavizar los errores producidos en el posicionamiento estándar del sistema de posicionamiento global (GPS). El error que más afecta la señal del GPS es el introducido por la ionósfera debido a la perturbación que sufre la señal al atravesar esta capa, la distorsión que causa la refracción afecta principalmente a receptores que trabajan en frecuencia simple; también existen errores no correlacionados como el multipath que influyen y causan impacto en la precisión de la posición. Para la eliminación del error introducido por la ionósfera se aplicó la técnica del Filtro de Hatch; la información generada por los satélites se almacena en Archivos RINEX donde se extrae dos medidas el code-phase y el carrier-phase; estos archivos se descargan de las estaciones receptoras ubicadas en tierra. Con las medidas generadas del code-phase y carrier-phase se realizó la diferenciación en un tiempo estimado generando la señal código menos fase denominado (CMC) para luego ser filtrada permitiendo obtener la señal CMC-Suavizada. Los valores que toma la constante de atenuación está en el rango de 100 a 5000 segundos, la disminución del error y dando una estabilidad a la señal ya que se verifica la supresión de los picos que representan los valores afectados por el error ionosférico debido a su correlación entre medidas. Se concluye que entre más grande sea el tiempo estimado mejora en mayor proporción la estabilidad de la constante de atenuación y es posible observar la reducción de los errores de manera gradual con respecto a la señal original; esto se aplica a receptores de simple frecuencia como solución al inconveniente generado en la transmisión de datos. Se recomienda que el filtro se amplíe a trabajar con receptores y técnicas de doble frecuencia para mejorar la precisión de posicionamiento del GPS.

**PALABRAS CLAVE:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)>, <OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE GEOREFERENCIACIÓN>, <ARCHIVOS RINEX>, <FILTRO DE HATCH> <ERROR IONOSFÉRICO>, <MATLAB (SOFTWARE)>.

## SUMMARY

This work aimed to the development and implementation of the Hatch Filter to smooth the errors produced in the standard positioning of the global positioning system (GPS). The error that most affects the signal of the GPS is the one introduced by the ionosphere due to the perturbation that the signal undergoes when crossing this layer, the distortion that causes the refraction affects mainly to receivers that work in simple frequency; there are also uncorrelated errors such as the multipath that influence and impact the accuracy of the position. To eliminate the error introduced by the ionosphere, the Hatch Filter technique was applied; the information generated by the satellites is stored in RINEX File where two measurements are extracted the code-phase and the carrier-phase , these files are downloaded from the receiving stations located on the ground. With the measurements generated from the code-phase and carrier-phase differentiation was performed in an estimated time generating the code signal minus phase called (CMC) to later be filtered allowing to obtain the CMC-Smoothed signal. The values that the attenuation constant takes is in the range of 100 to 500 seconds, the decrease of the error and giving a stability to the signal since it is verified the suppression of the peaks that represent the values affected by the ionospheric error due to its correlation among measurements. It is concluded that the longer the estimated time improves the greater the stability of the constant of attenuation and it is possible to observe the reduction of the errors gradually with respect to the original signal, this applies to receivers of simple frequency as solution to the inconvenient generated in the transmission of data. It is recommended that the filter be extended to work with receivers and dual-frequency techniques to improve the accuracy of GPS positioning.

**KEYWORDS:** <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>, <TELECOMMUNICATIONS>, <GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)>, <OPTIMIZATION OF GEOREFERENCING SYSTEMS>, <RINEX FILES>, <HATCH FILTER>, <IONOSPHERIC ERROR> <MATLAB (SOFTWARE)>.

## INTRODUCCIÓN

GPS Sistema de Posicionamiento Global es un sistema de navegación por ondas de radio, que fue desarrollado por el Departamento de defensa de los Estados Unidos (DoD) en el año de 1995; al principio fue creado para aplicaciones militares. Este sistema proporciona gran exactitud y con la evolución de la tecnología los diferentes dispositivos son usados como Estaciones Receptoras (Rx).

La precisión de la posición de la señal GPS es afecta por fuentes de errores como por ejemplo los asociados al satélite (órbita, reloj, entre otros); la propagación de la señal (refracción troposférica, refracción Ionosférica, interrupción de la señal, ruido térmico, multipath, pérdidas de ciclos); afectan receptor (sincronización del reloj) etc.

Para poder reducir o eliminar algunos errores que se introducen en la señal GPS se utiliza la técnica de Diferencial de GPS, Corrección en Tiempo Real, entre otras; el error que más afecta la señal en su precisión es la Ionosférica que depende de variables como: época del año, hora del día, localización geográfica, ciclo solar, etc.

Para poder atenuar la perturbación ionosférica y eliminar el ruido térmico, troposférico entre otros se desarrollara e implementara la técnica de Filtro de Hatch en diferentes tiempos donde se podrá observar la mejora en la precisión de la posición de manera gradual. Para esta técnica se hace la recolección de datos de la estación receptora; el software que se eligió es MATLAB para el realizar el post-proceso, y este a su vez permite extraer la información proporcionada por el Archivo RINEX y almacenarlas en variables que permite el funcionamiento mediante ecuaciones establecidas.

Luego se procede al desarrollo del programa con los parámetros requeridos; aplicando la técnica de Suavizado de Portadora Simple donde se realiza una diferenciación de las medidas: carrier-phase y code-phase, estas luego ingresa al filtro de Hatch donde se genera una gráfica que permitirá observar la atenuación de los errores que afectan la señal del GPS y estos errores se produce por factores externos que no se pueden controlar menos predecir.

## ANTECEDENTES

Debido a la limitación que implicaba la presencia de la disponibilidad selectiva y los errores típicos que afectan la señal GPS son: el error introducido por la ionosfera, troposfera, multipath, ruido, pseudorange, falta de sincronización entre los relojes del satélite con los receptores.

El Diferencial de GPS es una técnica que trata de perfeccionar el sistema de posicionamiento global GPS, este utiliza una red de estaciones fijas compuesto por uno o varios receptores de GPS, de referencia en tierra, que permite transmitir la diferencia entre las posiciones indicadas por el sistema de satélites y la posición fija conocida. El sistema diferencial plantea que dos receptores GPS se encuentran a una corta distancia uno del otro y que el error que presentara uno, será con alta probabilidad igual al error que presentara el otro, es decir errores correlacionados. Si se utiliza uno de los dos receptores como receptor fijo con posición conocida, el otro receptor podrá conocer con detalle toda la información acerca del error que está recibiendo de los satélites.

Mientras más cercanas se encuentren la estación de referencia al receptor, mayor será la mejora en su precisión. Mientras más lejos se encuentra el usuario de la estación de referencia, más se ira degradando el error y tendrán tiempos diferentes debido a los diferentes obstáculos que tendrá que atravesar para llegar de un receptor hacia otro. Si el usuario se encuentra muy alejado de la estación de referencia no se garantiza que la información que reciben provenga de los mismos satélites. La transmisión de las correcciones se lo hace por radio y basados en su configuración su tiempo de actualización es aproximado de cinco segundos lo que garantiza una mejora e incremento en la precisión de la posición GPS de 100 metros a 2-3 metros o menos.

La corrección diferencial puede ser realizada en post-proceso, donde los datos de la base y del móvil son almacenados durante el levantamiento y al final se descargan en una computadora para realizar la corrección. A este proceso se lo llama corrección post-proceso, bastante utilizada en mediciones topográficas. En determinadas situaciones, como direccionamiento de máquinas (piloto automático) es necesario que la corrección sea realizada en tiempo real. Entre las aplicaciones se tiene la agricultura de precisión, mediciones topografía, entre otras.(BONGIOVANNI, pp- 25-37).

Según el papel desarrollado por (PATRICK y otros, 1999, pp-127-133) en la actualidad se busca mejorar la precisión de la posición de GPS usando simple frecuencia para mejorar la precisión

de las mediciones de código de pseudorango mediante la técnica de suavizado o Filtro de Hatch este permite eliminar los errores introducidos por la ionosfera y otros errores que afectan a la señal de GPS durante su transmisión.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿El Filtro de Hatch minimizara los errores del posicionamiento estándar del sistema GPS?

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿Qué tipo de correcciones han sido empleadas para mejorar la precisión de la posición GPS?
- ¿Qué tipos de errores afecta a la señal GPS y cuál es el peor de ellos?
- ¿Qué técnicas permiten mitigar los errores en la señal GPS en simple frecuencia?
- ¿Qué medidas serán modificadas para mejorar la precisión en la posición GPS?
- ¿Qué tipo de software será útil para la simulación del Algoritmo?

## **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

El sistema GPS es una tecnología desarrollada a mediados de los años 60, esta tecnología avanza día a día y su precisión es el punto más crítico de análisis. El error más perjudicial de la señal GPS es el producido por la Ionosfera el cual introduce un error en el rango aproximado de 30 metros. En orden de minimizar este tipo de error se desarrolló la técnica de Diferencial de GPS, la misma que se basa en la diferenciación de las medidas de código y fase de portadora en simple frecuencia permitiendo eliminar algunos de los errores propios de la señal GPS. Similar al Diferencial de GPS existe una nueva técnica de suavizado o también conocido como Filtro de Hatch el cual evalúa tres medidas de errores que son el pseudorango (pseudorango), el ruido y el multipath; permitiendo la atenuación del error producido por el multipath. A las entradas del filtro utiliza dos medidas de pseudorango (code-phase) y la fase de portadora (carrier-phase), las mismas que son diferenciales y estas luego son filtradas por un filtro pasa bajo y el resultado es la medida de pseudorango suavizada.

La técnica de Suavizado o Filtro de Hatch depende de los tipos de errores a ser filtrados y se basa en la diferenciación de portadoras simple y de doble frecuencia.

## **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

El presente proyecto propone realizar un algoritmo que permita simular la Técnica de Suavizado o también conocido como el Filtro de Hatch e identificar el efecto que produce sobre la precisión de las medidas del sistema GPS.

Las técnicas de suavizado o Filtro de Hatch realiza una diferenciación entre las medidas de código (carrier-phase) y fase de portadora (code-phase) del sistema GPS; esta técnica eliminara los diferentes errores introducidos por la ionosfera, troposfera, multipath, ruido, pseudorange que afectan la precisión del sistema GPS en simple frecuencia. Con esta técnica se mejorará la precisión del posicionamiento estándar del sistema GPS.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar e Implementar el Algoritmo del Filtro de Hatch en orden de suavizar los errores de las medidas de GPS para mejorar la precisión del posicionamiento estándar.

### **OBJETIVO ESPECÍFICOS**

- Introducir y Definir los conceptos del Sistema de Posicionamiento Global y de las Técnicas de Diferenciación de GPS.
- Recolectar datos en un receptor GPS.
- Desarrollar e Implementar el algoritmo del Filtro de Hatch.
- Testear y Validar los resultados obtenidos por el Algoritmo.

## **CÁPITULO I**

### **1 MARCO TEÓRICO**

#### **1.1 GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite)**

##### ***1.1.1 Introducción***

A principio de los años sesenta diferentes entes gubernamentales de los Estados Unidos como son: El Departamento de Defensa (DoD), el Departamento de Transporte y la Agencia Espacial Norteamericana; desarrollaron un sistema de posicionamiento global basado en el uso de satélites artificiales con el objetivo de abarcar toda la superficie terrestre permitiendo ser usados por el servicio de aviación de una manera precisa. Este sistema no era afectado por las diferentes condiciones atmosféricas, para lograr esto se llevaron a cabo diferentes experimentos como: el Sistema Timation y el Sistema 621B. El primer cohete Timation se puso en órbita en el año 1974 permitiendo obtener información horaria de manera precisa. (HENAO MELO, 2014, p. 7)

La navegación aérea es el conjunto de técnicas y procedimientos que permite desplazarse desde el origen a un destino facilitando la localización espacial de cualquier dispositivo. Esta técnica se basa en la observación del cielo, del terreno y de los datos aportados por los instrumentos de vuelos. La navegación aérea usa el concepto de GNSS que fue implementado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI); este sistema de posicionamiento es clave en los sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia del tráfico aéreo siendo un aporte importante en el servicio de navegación aeronáutica. (RIVERA, 2014, p. 2).

##### ***1.1.2 Conceptos***

De acuerdo al autor (DELGADO, 2009, pp-15-16 ).

El concepto Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) engloba en un término genérico todas las técnicas de navegación, al posicionamiento civil y a las capacidades de determinación de cronometraje disponibles desde una o más constelaciones de satélites.

A GNSS se puede definir como el Sistema Global de Navegación por Satélite; siendo un sistema de navegación que obtiene los datos de la constelación de satélites artificiales



permitiendo realizar medidas tridimensionales sobre la superficie terrestre proporcionando posicionamiento en cualquier parte de la superficie terrestre de una manera rápida y eficaz.

GNSS (Global Navigation Satellite System), es el acrónimo que se refiere al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite que proveen de posicionamiento geoespacial con cobertura global de manera autónoma. (AHN y otros, 2015, p. 89)

De acuerdo a los autores (BARRIOS, 2013, p. 12)

Se le conoce como GNSS, a un sistema mundial para la determinar posición y hora actual, a través del conjunto de constelaciones de navegación por satélites, como son: GPS, GLONASS; GALILEO, COMPASS, etc. Es decir, los sistemas que son capaces de dotar en cualquier parte punto y momento, el posicionamiento espacial y temporal.

Los Sistemas Satelitales de Navegación Global (GNSS según sus siglas en inglés: “Global Navigation Satellite System”) son sistemas de radionavegación pasiva con estaciones de referencias a bordo de los satélites en órbita alrededor de la Tierra. La constelación de satélites es un sistema de referencia que permite a los receptores ser alcanzados por las señales satelitales que a su vez les permite medir su distancia receptor-satélite mediante el principio matemático de la triangulación. (GRONDONA, 2013, p. 17)

Según (FÁREZ, 2010, p. 9)

Los sistemas GNSS (Global Navigation Satellite Systems) como el NAVSTAR GPS, GLONASS y el reciente GALILEO son un conjunto de satélites artificiales que proporciona a los usuarios información de gran precisión utilizada para el posicionamiento y localización (coordenadas geográficas), las 24 horas y en todas las condiciones climatológicas, de un punto en cualquier parte del mundo.

GNSS es un sistema mundial de determinación de la posición, que incluye constelaciones de satélites que ya han sido implementados como (GPS, GLONASS), y los que están en desarrollo como (BEIDOU, GALILEO). (RIVERA, 2014, p. 2)

GNSS es un sistema de navegación satelital que emite señales de radiofrecuencia a los receptores y les provee de posicionamiento geoespacial en las cuatro dimensiones (longitud, altitud, latitud, tiempo); estos receptores se pueden encontrar en cualquier parte de la superficie terrestre, para mayor exactitud en la posición utilizan el principio matemático de la triangulación. Este sistema es utilizado por usuarios civiles y militares en diferentes aplicaciones como la navegación vehicular entre otros.

### **1.1.3 Generalidades**

Los Sistemas Globales de Navegación por Satélite es una constelación de satélites que transmiten rango de señales utilizados en el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre durante las 24 horas del día y en todas las condiciones climatológicas. Esto permite determinar las coordenadas geográficas dando como resultado la recepción de señales enviadas por los satélites artificiales que se pueden aplicar en diferentes actividades como la navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos y agrícolas. (DOMÍNGUEZ CECILIA y otros, 2015, p. 31)

El funcionamiento de estos sistemas se basa en la medición de distancias desde un receptor a un conjunto de satélites; esto se calcula con el tiempo que se tarda en llegar a la tierra las señales radioeléctricas que son emitidas por los satélites. Este sistema calcula la posición con sus tres componentes (altitud, longitud, latitud) mediante la triangulación y otras aplicaciones como la distancia, posición de los satélites, entre otras siendo de gran ayuda para los usuarios civiles y militares en todo el mundo. (DOMÍNGUEZ CECILIA y otros, 2015, p. 22)

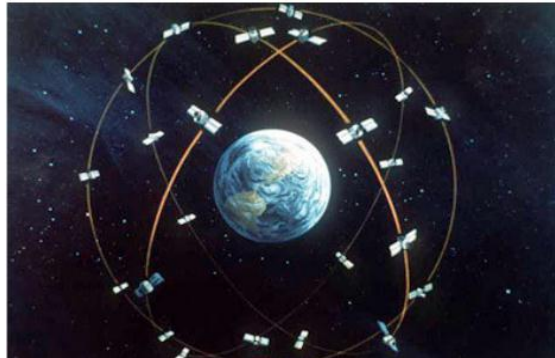
En la actualidad existen sistemas de este tipo u otros sistemas en etapas de pruebas:

- GPS (Global Positioning System) creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América.
- GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System) creado por la Federación Espacial Rusa.
- GALILEO (Sistema Europeo)
- BEIDOU o COMPASS (BeiDou/Compass Navigation Test System) República Popular China)
- El QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) de Japón
- El IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) de la India. (DOMÍNGUEZ CECILIA y otros 2015, p. 22)

#### 1.1.4 Constelación de Satélites

En la actualidad se puede hablar de 4 sistemas: GPS, GLONASS, GALILEO y BEIDOU.

##### 1.1.4.1 GPS

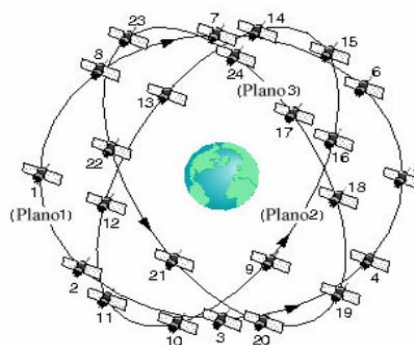


**FIGURA 1.1** Constelación de satélites GPS

Fuente: (GARCÍA DAVID, 2008, p. 7)

La constelación de satélites GPS fue creada por el Gobierno de los Estados Unidos y es operado en la actualidad por el Departamento de defensa de los Estados Unidos. Esta constelación está formada por 24 satélites dispuestos en 6 planos orbitales de manera igualitaria; cada uno con 4 ranuras ocupadas por los satélites de la línea de base. Este arreglo permite que al menos cuatro satélites estén en vista desde cualquier punto de la superficie terrestre; estos satélites se colocan en la órbita MEO con una altitud 20.200km con una inclinación de  $55^\circ$  con respecto al Ecuador. Las orbitas casi son circulares con un semieje mayor a 26.569km con un periodo nominal de 11 horas 58 minutos 2 segundos repitiendo la geometría de cada día sideral. (J. SANZ SUBIRANA y otro, 2013, p. 10)

##### 1.1.4.2 GLONASS



**FIGURA 2.1** Constelación de satélites GLONASS

Fuente:(GARCÍA DAVID, 2008, p. 30)

La constelación de satélites GLONASS fue desarrollada por el Ministerio de Defensa Ruso entre el 1968 y 1969. En el año de 1976 es cuando se aprobó que el Partido Comunista Soviético y el Consejo de Ministros de la URSS el desarrollo de este sistema; y en la actualidad es administrado por la Federación Rusa; esta constelación está formada por 21 satélites MEO activos y 3 de reserva ubicados en 3 planos orbitales con 8 satélites equidistantes. Las orbitas son más o menos circulares con una inclinación de  $64,8^\circ$  y a una altitud de 19.100km con un periodo nominal de 11 horas 15 minutos 44 segundos repitiendo la geometría de cada 8 días siderales. (J. SANZ SUBIRANA y otros, 2013, p. 11)

#### 1.1.4.3 GALILEO



**FIGURA 3.1** Constelación de satélites GALILEO

Fuente:(GARCÍA DAVID, 2008, p. 34)

La constelación de satélites GALILEO fue desarrollada por la Comisión Europea con la Agencia Espacial Europea entre los años (1999 - 2002). Las compañías que realizaron los diferentes estudios para el desarrollo de este proyecto fueron:

- GALA: Encargado de suministrar los requisitos de la misión, diseñar la arquitectura global GALILEO y realizar el estudio con de la conexión con otros sistemas.
- GEMINUS: Realizo el estudio para la definición de los servicios de este proyecto en función de las necesidades de los usuarios.
- INTEG: estudio el sistema EGNOS para integrarlo al proyecto de GALILEO.
- SAGA: Proyecto para la estandarización de GALILEO.
- GalileoSat: Estudio sobre el segmento espacial del sistema. (GARCÍA DAVID, 2008, pp. 34-37)

En la actualidad es operado por la Unión Europea la constelación está formada por 27 satélites principales MEO activos y 3 de reserva a una altitud de 23.222km con una excentricidad de orbitas de 0,002; 10 satélites ocupan cada una de los 3 planos orbitales con

una inclinación de  $56^\circ$  con respecto al Ecuador. El periodo nominal es de 14 horas 4 minutos 15 segundos repitiendo la geometría de 17 revoluciones que son 10 días nominales. Para el posicionamiento por lo menos se debe tener en vista 6 satélites. (J. SANZ SUBIRANA, 2013, pp. 12-13)

#### 1.1.4.4 BEIDOU



**FIGURA 4.1** Constelación de satélites BEIDOU

Fuente: ([http://www.navipedia.net/index.php/BeiDou\\_Space\\_Segment](http://www.navipedia.net/index.php/BeiDou_Space_Segment))

La constelación de satélites BEIDOU fue desarrollado por China, siendo en la actualidad operado por el Gobierno Chino; esta constelación consta de 35 satélites en total incluyendo 5 orbitas geoestacionarias que 5 son GEO, 27 MEO y 3 IGSO en una órbita casi circular con una inclinación de  $55^\circ$  y a un altitud de 21.528km con un periodo nominal de 12horas 53minutos repitiendo la geometría de 7 días nominales. Los satélites GEO están a una altitud de 35.736km con una inclinación de  $58.75^\circ$  E,  $80^\circ$  E,  $110.5^\circ$  E  $140^\circ$  E  $160^\circ$  E. (J. SANZ SUBIRANA, 2013, p. 13)

**Tabla 1-1:** Constelación GNSS

Constelación	# de Satélites	Satélites en Vista	Orbitas	Planos Orbitales	Inclinación	Altitud	Período Nominal
GPS	24	4	MEO	6	$50^\circ$	20.200 Km	11h 58m 2 s
GLONASS	24	8	MEO	3	$64.8^\circ$	19.100 Km	11h 15m 44 s
GALILEO	27	6	MEO	3	$56^\circ$	23.222 Km	14 h 4 m 45 s
BEIDOU	5		GEO	3	$58.75^\circ$ E $80^\circ$ E $110.5^\circ$ E $140^\circ$ E $160^\circ$ E	35.786 Km	
	27		MEO		$55^\circ$	21.528 Km	12h 53 m
	3		IGSO		$55^\circ$	35.786 Km	

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

## 1.2 GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

Según (SÁNCHEZ ALBERTO, 2014, p. 69)

EL NAVSTAR/GPS fue definido desde sus orígenes como un sistema pasivo de navegación en que los satélites son los emisores de radiofrecuencias. Proporciona un marco de referencia espacio-temporal con cobertura global, independiente de las condiciones atmosféricas y de forma continua en cualquier lugar de la Tierra, ventajas estas últimas que han hecho que el sistema sea ampliamente utilizado en la actualidad.

El sistema GPS es un sistema que permite calcular las coordenadas de cualquier punto de la superficie terrestre a partir de la recepción de señales emitidas desde la constelación de satélites que están alrededor de la tierra, y permite localizar cualquier equipo radioreceptor terrestre mediante sus coordenadas sin importar la posición en cualquier parte del planeta e incluso fuera de ella. (ORTIZ MARIO, 2007, p. 68)

Cuando se necesita encontrar la posición de cualquier objeto, el GPS localiza de manera automática y para eso necesita como mínimo 3 satélites; el receptor calcula el tiempo que se demora en llegar la señal al dispositivo, permitiendo de esta manera medir la distancia que hay entre receptor-satélite mediante la triangulación. Una vez obtenida la distancia, se podrá encontrar la posición relativa también se obtiene las coordenadas de cada satélite mediante la señal que emiten, se obtiene las coordenadas reales del punto de medición. (MONTENEGRO KLEVER y otros, 2015, p. 4)

El sistema de posicionamiento GPS es un sistema que fue diseñado específicamente para que cualquier receptor ubicado en la faz de la tierra, tenga acceso a por lo menos 4 satélites durante las 24 horas del día. (PILAPANTA CHRISTIAN, 2013, p. 15)

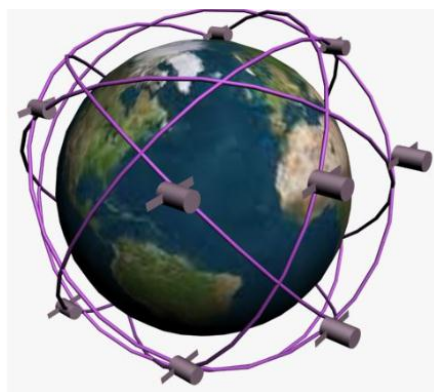
GPS fue diseñado con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad, tiempo de cualquier objeto en la superficie terrestre; después se abrió la señal para el ámbito civil que solo les permite el uso de un subconjunto de señales permitiendo obtener la precisión en la localización en cualquier parte de la superficie terrestre. (AYALA ALFREDO y otros, 2012, pp. 28-29)

GPS ofrece dos tipos de servicios; Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS) a disposición de los militares de los Estados Unidos y el Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS), que por definición es un servicio de posicionamiento y temporización para uso civil, comercial y científico. (BONGIOVANNI RODOLFO y otros, p. 25)

### 1.2.1 *Arquitectura*

El sistema GPS se compone de tres segmentos: Segmento de Control, Espacial y Usuario respectivamente.

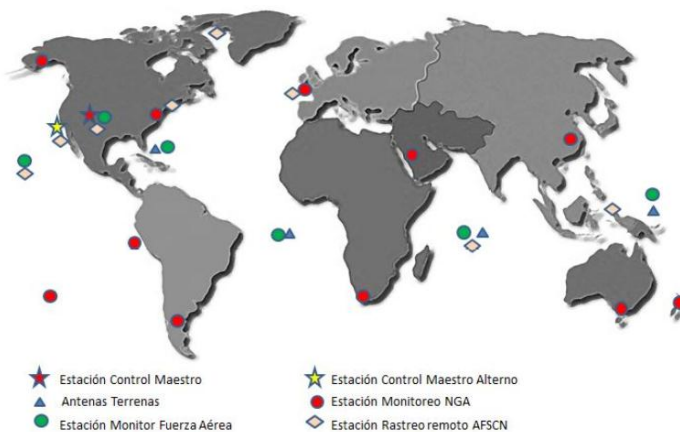
#### 1.2.1.1 *Segmento Espacial*



**FIGURA 5.1** Segmento Espacial  
Fuente: (Henao Melo Luis Guillermo 2014)

Segmento Espacial está formado por 24 satélites dispuestos en 6 planos orbitales cada uno con 4 ranuras ocupadas por los satélites de la línea base. Este arreglo puede ser visto por cualquier punto de la superficie terrestre; estos satélites se colocan a una altitud de 20.200 Km. (AYALA ALFREDO, 2012, pp. 43-45)

#### 1.2.1.2 *Segmento de Control*



**FIGURA 6.1** Segmento de Control  
Fuente: (HENAOLUIS, 2014, p. 12)

Este segmento se compone de una red de estaciones de monitoreo (MS), estaciones de control maestra (MCS) y las antenas de tierra. La estación principal está en Colorado Springs este es el núcleo de control. Es el responsable del funcionamiento del sistema, control y mantenimiento del Segmento Espacial. Las estaciones de monitoreo se encuentran en todo el mundo y recopilan los datos de manera continua, estos datos son enviados a las estaciones de control maestra donde se procesan los datos que permite calcular la efemérides (orbitas) del satélite, los errores del reloj entre otros parámetros generando los mensajes de navegación. (J. SANZ SUBIRANA y otros, 2013, p. 14)

Las Estaciones de Control Maestras son 5 y están controladas por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos:

Su función es recoger y almacenar los datos de seguimiento procedentes de las estaciones monitoras para utilizarlos después en el cálculo de las orbitas de los satélites y los parámetros de reloj. Los resultados son enviados a las Estaciones de Control de Tierra para que sean enviados a los satélites. (SIERRA CALDERÓN ANA, 2009, p. 12)

- Hawái MS
- Colorado Springs (Colorado) MCS y MS
- Isla Ascensión (Atlántico Sur) AG y MS
- Diego García (Océano Indico) AG y MS
- Kwajalein (Pacífico Norte) AG y MS

En el año 2001 se crea una estación y en el año 2005 se crean las demás que son operados por la NGA del Departamento de Defensa (DoD).

- Cabo Cañaveral (Florida) AG y MS
- Adelaida (Austria) MS
- Buenos Aires (Argentina) MS
- Hermitage (Reino Unido) MS
- Manama (Bahrein) MS
- Quito (Ecuador) MS
- Washington DC (Estados Unidos) MS

En el año 2006 se crean más estaciones de Seguimiento.

- Fairbanks (Alaska) MS



- Osan (Corea del Sur) MS
- Papeete (Tahití) MS
- Petroria (África del Sur ) MS
- Wellington (Nueva Zelanda) MS

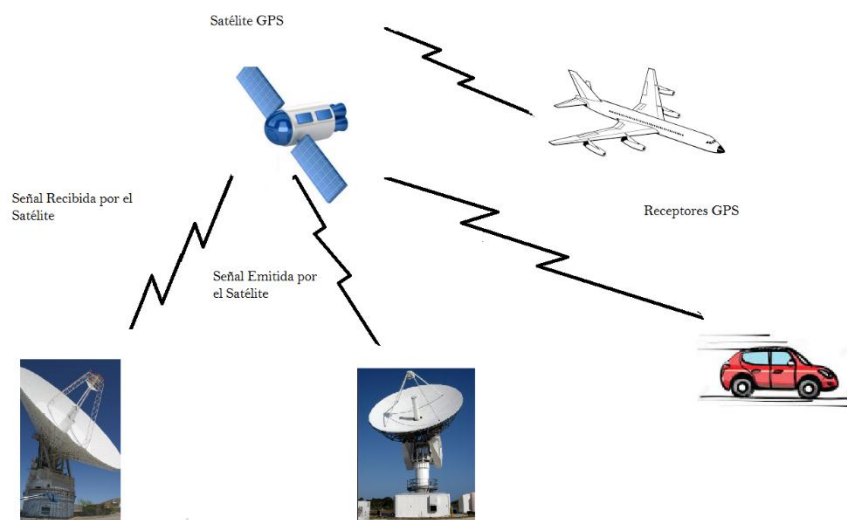
Cada satélite es observada por 3 MS lo que permite mayor precisión en sus orbitas.

- MS: son estaciones Maestras monitoreadas por la USAF
- MS: son estaciones Maestras monitoreadas por la NGA

Estaciones de Monitoreo: Cada una de ellas están equipadas con un reloj estándar de cesio y receptores que continuamente miden el pseudorango de todos los satélites que tienen en vista.(SIERRA CALDERÓN ANA, 2009, p. 12)

Antenas de Tierra: Están equipadas con antenas que poseen la capacidad de transmitir la información de efemérides y de reloj calculada por la Estación Maestra de Control a los satélites.(SIERRA CALDERÓN ANA, 2009, p. 12)

#### 1.2.1.3 Segmento de Usuario



**FIGURA 7.1** Segmento de Usuario  
Realizado por (Maricela Calle, 2017)

Este segmento está constituido por el hardware, el software que determinan la posición, velocidad y tiempo de usuario que se usa para captar y procesar las señales enviadas por los

satélites. Es la parte que más les interesa a los usuarios por que el tipo de método utilizado depende de la precisión alcanzada. El tipo de receptores va unido al tipo de método elegido para la medición de acuerdo a la aplicación que se va a realizar. (SIERRA CALDERÓN ANA, 2009, p. 13)

### ***1.2.2 Tipos de Servicio de GPS***

- **Servicio de Posición Precisa (PPS):** Es un servicio exclusivo para uso militar y usuarios autorizados por el Departamento de los Estados Unidos quienes deben tener el código P para acceder al tipo de señal sin degradación. Con este tipo de señal se puede tener una precisión entre 15 a 20m. (AYALA RAMÍREZ ALFREDO y otros, 2012, P. 51)
- **Servicio de Posición Estándar (SPS):** Es un servicio disponible para usuarios civiles y militares. La exactitud de este servicio se puede degradar en épocas de emergencia nacionales, para esto existe el código C/A que no permite la degradación de la señal y su precisión es de 20 a 40m. (AYALA RAMÍREZ ALFREDO y otros, 2012, p. 52)

### ***1.2.3 Señales en el Espacio SIS***

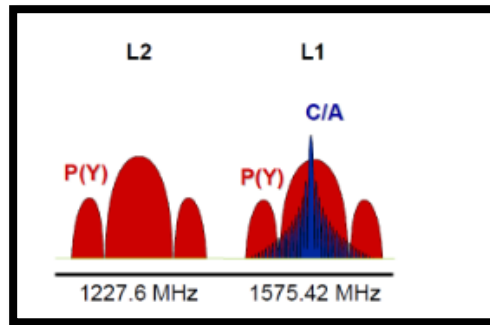
#### ***1.2.3.1 Señal GPS***

Según (PUGLIA GUSTAVO y otros, 2012, p. 14 )

La señal que contiene los datos GPS, permite que los datos de ubicación de los satélites y de más información contenida en las transmisiones lleguen a tierra y sea transmitida en modo Brocadas por los satélites, permitiendo que cualquier equipo pueda entender la señal y sea capaz de utilizarla.

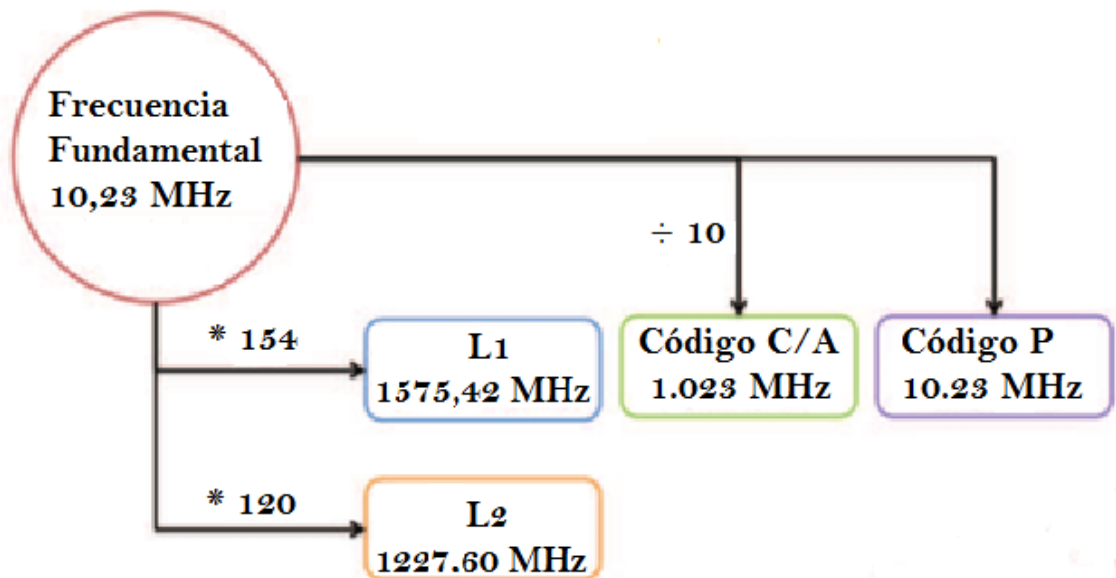
Cada satélite GPS posee relojes atómicos muy precisos, los que operan a una frecuencia estándar de 10,23 MHz; y esta frecuencia estándar es empleada en la generación de las ondas portadoras (L1 y L2), así como en los códigos (C/A y P) que están incluidos en la señal transmitida. (PILAPANTA CHRISTIAN, 2013, P. 16)

Las dos frecuencias portadoras son denominadas L1 y L2 que se multiplican por el oscilador de referencia 10,23 MHz, trabajan de distinta manera por los retardos ocasionados de la atmosfera y estas frecuencias pueden dar a conocer ese retardo y compensarlo. (Ortíz Mario, 2007, p. 78)



**FIGURA 8.1.** Señal L1 y L2 de GPS  
Fuente: (J. SANZ SUBIRANA y otros., 2013. p. 23)

- Portadora L1=  $154 \times 10.23 \text{ MHz} = 1575,42 \text{ MHz}$ .
- Portadora L2=  $120 \times 10.23 \text{ MHz} = 1227,6 \text{ MHz}$ . (PUGLIA GUSTAVO y otros, 2012, p. 15)



**FIGURA 9.1.** Estructura de la señal GPS  
Fuente: (PILAPANTA CHRISTIAN, 2013, p. 16)

Estas portadoras se modulan con códigos pseudo-aleatorios empleando técnicas de espectro ensanchado. Cada satélite posee un código C/A exclusivo, lo que genera una modulación específica de onda por cada satélite observado. Esta modulación se la denomina pseudo-ruido aleatorio PRN porque brinda a los receptores una identificación única de la fuente emisora de la señal. (PILAPANTA CHRISTIAN, 2013, p. 16)

Las ondas portadoras brindan una mayor información en el posicionamiento satelital mientras que los códigos (Clear/Adquisition) y P (Precise) son importantes porque introducen las marcas de tiempo en el mensaje de navegación que son utilizadas en la identificación de la señal cuando esta fue emitida ósea su posición inicial. (PILAPANTA CHRISTIAN, 2013, P. 16)

- **El código C/A:** este código se modula en la portadora L1 el cual transporta el mensaje de navegación y es la base del servicio SPS. Este código consiste en una secuencia pseudo-aleatoria de 1023 MHz que se repite cada 1023 bits. Utiliza modulación de espectro expandido de secuencia directa (DSSS) sobre 1MHz de ancho de banda y la técnica de modulación es BPSK. (AYANCAN BORIS y otros, 2008, p. 19)
- **Código de Precisión P:** modula la portadora L1 y L2, siendo la base del servicio PPS. Este código posee una frecuencia de 1023 MHz.
- **El código Y:** este código se envía encriptado en vez del código P cuando está activo el modo de operaciones anti-engaños. (SÁNCHEZ ALBERTO, 2014, p. 79)
- **Mensaje de Navegación:** este mensaje está constituido de 25 tramas de 1500 bits cada uno, con una velocidad de transmisión de 50 baudios; cada grupo se envía cada 30 segundos. Los grupos de 1500 bits se dividen en 5 subtramas de 300 bits cada una y a su vez se divide en palabras de 30 bits de longitud. (AYANCAN BORIS y otros, 2008, pp. 21-22)

#### 1.2.3.2 Estructura Matemática de las Ondas Portadoras

Se debe entender que la estructura de las ondas portadoras es de vital importancia; puesto que a partir de estas se deducen las ecuaciones utilizadas en la medición de códigos y diferencia de fase, dando como resultado el desarrollo parcial del modelo funcional utilizado en el posicionamiento satelital. (PILAPANTA CHRISTIAN, 2013, p. 17)

La estructura matemática de las ondas portadoras se define así:

Onda Portadora L1

$$L_1(t) = A_{p1} * P(t) * D(t) * \sin(\omega_1 t) + A_c * C(t) * D(t) * \cos(\omega_1 t) \quad (1.1)$$

Onda Portadora L2

$$L_2(t) = A_{p2} * P(t) * D(t) * \sin(\omega_2 t) \quad (1.2)$$

Donde:

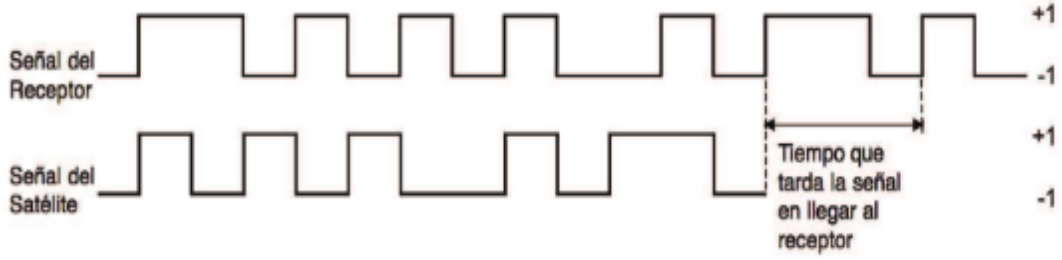
$L_1(t)$	Onda Portadora L1
$L_2(t)$	Onda Portadora L2
$t$	Tiempo del reloj del satélite
$A_{p1}$	Amplitud del código P en L1
$A_{p2}$	Amplitud del código P en L2
$A_c$	Amplitud del código C/A en L1
$P(t)$	Señal modulada del código P (+1 o -1)
$C(t)$	Señal modulada del código C/A (+1 o -1)
$D(t)$	Modulación del mensaje de navegación (+1 o -1)
$\omega_1$	Frecuencia de la onda de portadora L1
$\omega_2$	Frecuencia de la portadora L2

### 1.2.3.3 Medidas de la Señal GPS

#### 1.2.3.3.1 Pseudorange

Cada equipo calcula la distancia existente entre los satélites observados y el receptor con el fin de determinar sus coordenadas geocéntricas.

El error más común generado en este proceso es la falta de sincronización entre los relojes del satélite y el receptor que este a su vez capta la señal transmitida generando una réplica idéntica la cual le permitirá hacer una comparación entre las dos y ver un tiempo medio de viaje. (PILAPANTA CHRISTIAN, 2013, p. 18)



**FIGURA 10.1:** Esquema básico del retardo en la señal

**Fuente:** (PILAPANTA CHRISTIAN, 2013, p. 18)

El pseudorange se calcula con el tiempo que tarda la señal electromagnética emitida por el satélite en llegar al receptor multiplicado por la velocidad de la luz, representado matemáticamente como la norma de la diferencia entre los vectores posición de cada uno de ellos.

Partiendo de la ecuación fundamental de distancia y tomando en cuenta el error por sincronización de los relojes, la ecuación fundamental de las mediciones por pseudorange ( $P_r^s$ ) donde:

$$P_r^s = \sqrt{(x^s - x_r)^2 + (y^s - y_r)^2 + (z^s - z_r)^2} + c\delta t_r - c\delta t^s \quad (1.3)$$

$x^s, y^s, z^s$	Coordenadas cartesianas del satélite
$x_r, y_r, z_r$	Coordenadas cartesianas del receptor
$C$	Velocidad de propagación de la onda (velocidad de la luz)
$\delta t^s$	Error de sincronización en el reloj del satélite
$\delta t_r$	Error de sincronización en el reloj del receptor

La solución a la ecuación anterior (1.3), existirá siempre que se tenga datos de por lo menos 4 satélites, a partir del planteamiento y después la resolución de un sistema de ecuaciones linealmente independiente expresado como:

$$P_r^{s1} = \sqrt{(x^{s1} - x_r)^2 + (y^{s1} - y_r)^2 + (z^{s1} - z_r)^2} + c\delta t_r - c\delta t^{s1}$$

$$P_r^{s2} = \sqrt{(x^{s2} - x_r)^2 + (y^{s2} - y_r)^2 + (z^{s2} - z_r)^2} + c\delta t_r - c\delta t^{s2}$$

$$P_r^{s3} = \sqrt{(x^{s3} - x_r)^2 + (y^{s3} - y_r)^2 + (z^{s3} - z_r)^2} + c\delta t_r - c\delta t^{s3}$$

$$P_r^{s4} = \sqrt{(x^{s4} - x_r)^2 + (y^{s4} - y_r)^2 + (z^{s4} - z_r)^2} + c\delta t_r - c\delta t^{s4}$$

(1.4)

Donde:

$s^1, s^2, s^3, s^4$  Representan el número del satélite observado

Variables conocidas:

- Coordenadas cartesianas del satélite
- Error del reloj satelital

Variables desconocidas

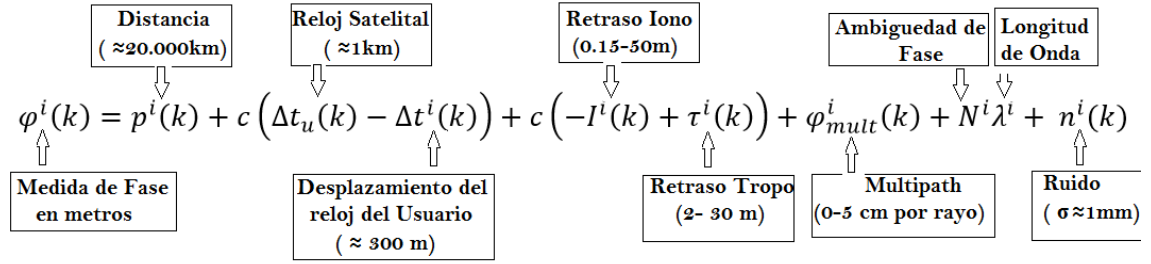
- Coordenadas cartesianas del receptor
- Error del reloj del receptor

Cuando el sistema de ecuaciones es no lineal, este debe ser linealizado previo a su resolución a través de un ajuste por mínimos cuadrados. (Pilapanta Christian, 2013, p. 19)

Los usuarios pueden calcular el pseudorango de cada satélite usando dos Mediciones la del Código y Fase de Portadora

#### *1.2.3.3.1.1 Medidas de la Fase de Portadora*

Existe una medida mucho más precisa que la medida de código es la medida de la fase de portadora que se genera mediante la diferencia entre la señal portadora generada por el receptor y la generada por el satélite en el instante de la medición. La señal recibida en cualquier instante puede estar relacionada con la fase del satélite en el momento de la transmisión siendo el tiempo de tránsito, este tiempo es una medida indirecta y ambigua de la señal. (NAVARRO JUAN JOSÉ, 2004, p. 59)



**FIGURA 11. 1** Modelo de la Medición de Fase de Portadora

Fuente: (IHLENFELDT SEJAS MAURICIO, 2007, p. 24)

Tanto la medida de fase de código como la de fase de portadora poseen las mismas fuentes de error, generando una gran diferencia entre las dos medidas; la fase de código proporciona un pseudorango equivocado mientras que la fase de portadora proporciona datos del pseudorango más preciso. (PUGLIA GUSTAVO y otros, 2012, p. 17)

Esta se base en el cálculo de la diferencia matemática entre las fases generadas por las señales reales y sus réplicas. Para toda señal **S** emitida por la satélite **j** al receptor **A** y por ende para su réplica **S'**, las fases de onda son calculadas respectivamente por las expresiones siguientes:

$$\phi_A^{GPS,j} = f * T^j + \alpha^j \quad (1.5)$$

Y

$$\phi_{0,A} = f * T_A + \alpha_A \quad (1.6)$$

Donde:

$\phi_A^{GPS,j}$	Fase emitida por el satélite j al receptor A
$\phi_{0,A}$	Fase emitida por el receptor a (réplica)
$T^j, T_A$	Tiempo medido por el satélite y el receptor respectivamente
$\alpha^j, \alpha_A$	Errores instrumentales (retraso de la señal)

Su diferencia se dará como:

$$\phi_A^j = \phi_{0,A} - \phi_A^{GPS,j} + N_A^j$$



$$\phi_A^j = f(T_A + T^j) + (N_A^j - \alpha^j + \alpha_A) \quad (1.7)$$

$\phi_A^j$	Diferencia de fase
$N_A^j$	Numero entero de osciladores generadas por la onda en el trayecto (ambigüedad de fase enteras)

O, multiplicando por la longitud de onda nominal,  $\lambda = c/f$

$$L_A^j = \lambda \phi_A^j$$

$$L_A^j = c(T_A - T^j) + \lambda(N_A^j - \alpha^j + \alpha_A)$$

$$L_A^j = P_A^j + b_A^j$$

$$L_A^j = \sqrt{(x^s - x_r)^2 + (y^s - y_r)^2 + (z^s - z_r)^2} + c\delta t_r - c\delta t^s + b_A^j \quad (1.8)$$

Donde:

$L_A^j$	Diferencia de fase (Ecuación principal de observación)
$x^s, y^s, z^s$	Coordenadas cartesianas del satélite
$x_r, y_r, z_r$	Coordenadas cartesianas del receptor
$c$	Velocidad de propagación de la onda (velocidad de la luz)
$c\delta t^s$	Error de sincronización en el reloj del satélite
$c\delta t_r$	Error de sincronización en el reloj del receptor
$b_A^j$	Termino (no entero) de ambigüedad o phase bias

Como se puede observar en las ecuaciones resultantes de las mediciones de código y fase de portadora en gran parte son similares se distinguen por la presencia del termino de ambigüedad.

Este proceso es de suma importancia si se desea conocer con precisión la posición del objeto en estudio. (PILAPANTA CHRISTIAN, 2013, p. 21)

La medición realizada por el receptor GPS es el tiempo de transito de la señal de un satélite al receptor. El tiempo de transito se mide como la cantidad de cambios de tiempo que son requeridos para alinear la réplica de código C/A generada por el receptor con la señal que es recibida por el satélite. Este tiempo de transito esta sesgado porque los relojes del receptor y del satélite no están sincronizados. (ZABALA MÓNICA, 2015, p. 19)

Diagrama de la ecuación de medición de pseudorange:

$$P^i(k) = p^i(k) + c(\Delta t_u(k) - \Delta t^i(k)) + c(I^i(k) + \tau^i(k)) + D^i_{mult}(k) + n^i(k)$$

Factores que contribuyen a la medición:

- Distancia ( $\approx 20000\text{km}$ )
- Retraso Iono ( $0.15 - 50\text{ m}$ )
- Ruido ( $\approx 1\text{m}$ )
- Retraso Tropo ( $\approx 2.30\text{m}$ )
- Desplazamiento del reloj del usuario ( $\approx 300\text{m}$ )
- Medición de código (m)
- multipath ( $0-150\text{m por rayo}$ )

**Fuente:** (IHLENFELDT SEJAS MAURICIO, 2007, p. 22)

Los datos GPS de observación y recopilación hecha por el receptor, normalmente se almacenaba en un formato binario específico que era reconocido solo por los programas ofrecidos por el fabricante. (SIERRA ANA, 2009, p. 14)

RINEX (Receptor de Cambio Independiente) es un formato de fichero de texto ideado para almacenar de forma estandarizada medidas proporcionadas por el sistema de navegación: GPS, GLONASS, EGNOS, WAAS o GALILEO en el año 1989. (M. HERNÁNDEZ-PAJARES y otros, 2001, p. 183)

El archivo RINEX se basa en la mayoría de software GPS empleando lo siguiente:

- La medida de la portadora de fase en una o dos frecuencias (L1 o L1, L2).
- Las medidas de pseudorango.
- El tiempo obtenido en el instante de validar las medidas de fase y código. (SIERRA ANA, 2009, p. 15)

Esto hace que la mayoría de la información que recogen los receptores sea innecesaria, pues únicamente con estos tres observables y alguna información adicional relativa al estacionamiento (altura de la antena, nombre de la estación, etc.) sería suficiente. (SIERRA ANA, 2009, p. 15)

El RINEX implica que los datos binarios de cada receptor pueden ser transformados a formato independiente universal ASCII7 durante el proceso de descarga, así permite que otro tipo de software intercambie información con otros receptores. Dado que los datos binarios difieren de cada receptor es necesario que cada proveedor de software GPS genere un intérprete para este formato.

RINEX measurement file									
2	OBSERVATION DATA				G (GPS)	RINEX VERSION / TYPE			
RGRINEX0 V2.4.1 UX	AUSLIG	10-JAN-97 10:19				PGM / RUN BY / DATE			
Australian Regional GPS Network (ARGN) - COCOS ISLAND						COMMENT			
BIT 2 OF LLI (+4) FLAGS DATA COLLECTED UNDER "AS" CONDITION						COMMENT			
-0.000000000103						HARDWARE CALIBRATION (S)			
-0.000000054663						CLOCK OFFSET (S)			
COCO						MARKER NAME			
AU18						MARKER NUMBER			
mmh						OBSERVER / AGENCY			
126						REC # / TYPE / VERS			
327						ANT # / TYPE			
-741950.3241 6190961.9624 -1337769.9813						APPROX POSITION XYZ			
0.0040 0.0000 0.0000						ANTENNA: DELTA H/E/N			
						WAVELENGTH FACT L1/2			
						# / TYPES OF OBSERV			
1	1					COMMENT			
5	C1	L1	L2	P2	P1	COMMENT			
SNR is mapped to signal strength [0,1,4-9]									
SNR:	>500	>100	>50	>10	>5	>0	bad	n/a	
sig:	9	8	7	6	5	4	1	0	
30	INTERVAL								
1997	1	9	0	7	30.0000000	TIME OF FIRST OBS			
1997	1	9	23	59	30.0000000	TIME OF LAST OBS			
97	1	9	0	7	30.0000000	[0]	[7]	1 25	9 5 23 17 6
22127	MEASUREMENTS				1118481.28445	22127685.4014	<===== 1		
22672					8969469.30045	22672158.5184	<===== 25		
22594902.367	-12949753.825				-10090708.53945	22594903.7394	<===== 9		
22731128.796	-11621184.951				-9055464.16945	22731130.0094	<===== 5		
24610920.702	-924108.174				-720085.67045	24610920.0404	<===== 23		
20718775.074	-18605935.474				-14498133.97346	20718775.6074	<===== 17		
20842713.610	-19083282.892				-14870090.55546	20842713.4814	<===== 6		

FIGURA 13. 1 Archivo RINEX

Fuente: (BOSSLER JOHN, 2002, p.46 )

## Nomenclatura Del Fichero Rinex

“ssssdddf.yyyt”

Donde:

- Los primeros 4 caracteres (ssss) establecen la identificación de la base (Tejada Agostina 2016)
- Los tres siguientes (ddd) indican el día del año (365 días) base (Tejada Agostina 2016)
- El octavo carácter (f) indica el número de sección base (Tejada Agostina 2016)
  - 0: archivo de una sección de 24 horas (caso de las EP)
  - a-x: archivo de una sesión de una hora determinada (a= 0h, x= 24h)
- Los dos primeros caracteres de la extensión (yy) corresponden con el año actual base.
- El ultimo carácter (t) denota el tipo de fichero (n: navegación GPS, o: observación, g: navegación GLONASS, d: para ficheros de observación con comprensión Hatanaka, m: para ficheros de datos meteorológicos y h: mensajes de navegación de carga útil geoestacionaria GPS). (TEJADA AGOSTINA, 2016, pp. 47-49 )

El formato RINEX tiene las siguientes características:

Formato ASCII, con un máximo de 80 caracteres por registro.

- Archivo de Datos de Observación
- Archivos de mensajes de Navegación
- Archivo de datos Meteorológicos
- Archivo de Mensajes de navegación de GLONASS (BOSSLER JOHN, 2002, p. 195)

Cada archivo RINEX posee una cabecera y una sección de datos, esta cabecera contiene la información general del fichero de la estación, el receptor o la antena; la sección de datos contiene datos referentes al tipo de archivo. (SIERRA ANA, 2009, p. 16)

### 1.2.4.1 Archivo Rinex de Navegación

Este archivo contiene los datos orbitales, los parámetros del reloj y la predicción de las medidas de pseudorange de los satélites observados; su cabecera puede contener mensajes de navegación

como los parámetros de modelo ionosférico para aparatos de una sola frecuencia y términos de correcciones con el tiempo GPS. Una gran parte de este fichero tiene un formato ARGO de la NGS. (SIERRA ANA, 2009, p. 16)

Se transmite un régimen binario de 50 bps y se tarda 12.5 min en enviarlo completamente.

En la cabecera del fichero se detalla lo siguiente: N para el sistema GPS, G para el sistema GLONASS y H para el sistema SBAS de navegación, así como los parámetros de la ionosfera; en su cuerpo se detalla los datos sobre PRN, el tiempo del satélite, la época y la predicción de cada órbita. (SIERRA ANA, 2009, p.16)

#### *1.2.4.2 Archivo Rinex de Observación*

Este fichero puede ser de cuatro tipos según el sistema satelital del que provengan, tipo R corresponde al sistema GLONASS, el S pertenece al sistema GEO, el T pertenece al sistema NNSS, el M es mixto y G corresponde al sistema GPS. (SIERRA ANA, 2009, p. 16)

En este archivo se almacena las medidas de pseudorange, fase, efecto Doppler y el SNR (es la medida de calidad con la que la señal llega del satélite al receptor). (SIERRA ANA, 2009, p. 16)

En el caso del pseudorange se aceptan tres tipos de medidas, C1 (es el código C/A sobre la frecuencia L1), la P1 (código preciso en L1), P2 (código P en L2); la fase también posee dos códigos en la frecuencia L1 y frecuencia L2; para el efecto Doppler también se emplea dos medidas D1 y D2 sobre sus respectivas frecuencias. En el caso del SNR también se encuentran dos tipos de medidas S1 en la frecuencia L1 y el S2 para la frecuencia L2. (SIERRA ANA, 2009, p. 16)

El archivo de observación consiste en una cabecera al principio del fichero que incluye información adicional sobre la estación y el receptor para realizar el post-proceso de los datos con los observables que contienen. (BOSSLER JOHN, 2002, p. 195)

##### *1.2.4.2.1 Fichero de Conservación*

- La época de observación.- Es el tiempo de la señal recibida expresada en el sistema temporal del receptor. (BOSSLER JOHN, 2002, p. 195)
- Observaciones de fase.- Es la diferencia que se produce entre la señal del satélite y la generada por el receptor. (BOSSLER JOHN, 2002, p. 195)

- Observación de código.- Es la diferencia que se produce entre el código generado por el satélite y generado por el receptor. (BOSSLER JOHN, 2002, p. 195 )

RINEX ARTIFICIAL con órbitas TRANSMITIDAS										RINEX VERSION / TYPE									
pots										PGM / RUN BY / DATE									
elsa mohino										COMMENT									
X124A123										MARKER NAME									
234										OBSERVER / AGENCY									
3800689.7680										REC # / TYPE / VERS									
0.0000										ANT # / TYPE									
882077.2590										APPROX POSITION XYZ									
5028791.2460										ANTENNA: DELTA H/E/N									
0.0000										WAVELENGTH FACT L1/2									
1										# / TYPES OF OBSERV									
5										INTERVAL									
900.000										TIME OF FIRST OBS									
2001										END OF HEADER									
epoch										satellites									
U1 2 1 0 0 0.0000000 0 9										4 7 13 19 20 24 25 1 16									
21590479.169										21590480.092									
23744302.225										23744304.427									
21213042.393										21213043.212									
23711777.578										23711779.464									
20756659.234										20756659.971									
24858691.778										24858695.267									
23723968.808										23723970.538									
20346836.881										20346837.538									
23723968.825										23723970.555									
01 2 1 0 15 0.0000000 0 9										4 7 13 19 20 24 25 1 16									
21288999.443										21289000.293									
24215830.509										24215833.615									
20856903.071										20856903.823									

**Figura 14.1** Archivo RINEX de Observación

Fuente: (MOHINO HARRIS ELSA, 2006, p. 60 )

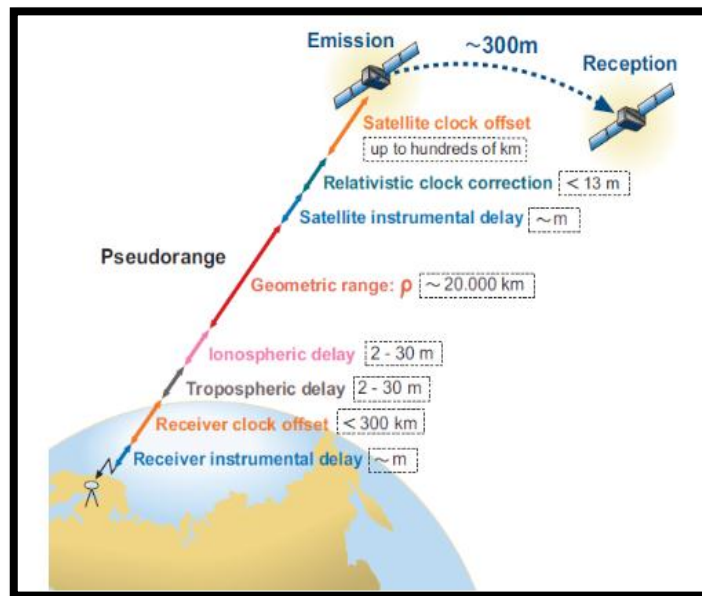
#### 1.2.4.2.2 Archivo de Mensajes de Navegación

Los archivos de navegación poseen los datos de las órbitas, sus parámetros de reloj y la precisión de las medidas de pseudorange de los satélites. La cabecera contiene mensajes de navegación como parámetros del modelo ionosférico de una sola frecuencia y términos de corrección con el tiempo GPS y UTC.

#### 1.2.4.2.3 Archivo de Datos Meteorológicos

Este fichero contiene datos de la presión atmosférica, la temperatura seca, húmeda en grados Celsius, la humedad relativa, puede contener la humedad central del retardo ionosférico por un radiómetro de vapor de agua. Cada fichero contiene los datos de una estación.

### 1.2.5 Fuentes de Errores



**Figura 15.1** Fuente de Error de la Señal GPS

Fuente: (ORTÍZ MARIO, 2007, p. 31)

#### 1.2.5.1 Errores Relativos al Satélite

- **Error en el reloj del satélite.-** Se produce cuando hay un desfase entre el tiempo del reloj con respecto al tiempo GPS, había dos fuentes de error: El error residual del reloj y la disponibilidad selectiva (SA); este error fue desactivado por el gobierno de los Estados Unidos en Mayo del 2002; y el otro error se puede eliminar mediante las correcciones del mensaje de navegación que recibe el receptor, luego las estaciones de seguimiento se encargan de actualizar la información. La imprecisión que se genera con este error es de 2m. (ORTÍZ MARIO, 2007, p. 22)
- **Errores en los Parámetros Orbitales del Satélite.-** A este error también se le conoce como error de Efemérides; este error es la diferencia entre la posición real del satélite y la presagiada por el modelo de la efemérides. Este error introduce un error de aproximación de 3 metros en el dominio de la distancia. (ORTÍZ MARIO, 2007, p. 23)

#### 1.2.5.2 Errores Relativos a la propagación de la señal en el Medio

- **Perturbación Ionosférica.-** La ionosfera está cargada de partículas cargadas eléctricamente que modifican la velocidad de las señales de radio que la atraviesan.

Durante la noche la variación es de 3 a 5 metros y por la tarde es de 5 a 10 metros; se puede emplear los siguientes métodos para corregirlos. Se toma un promedio de la reducción de la velocidad de la luz y luego se aplica el factor de corrección para los cálculos; el otro método es utilizar un receptor de doble frecuencia L1 y L2 que permite comparar los tiempos de arribo de las señales y estimar el retraso que se genera en la presión. (ORTÍZ MARIO, 2007, P.26)

- **Refracción Troposférica.-** En esta capa afectan los fenómenos meteorológicos, el vapor de agua afecta las señales electromagnéticas disminuyendo la velocidad. Los errores generados son similares en magnitud a los causados por la ionosfera, pero su corrección es prácticamente imposible. (ORTÍZ MARIO, 2007, p. 27)
- **Perdida del Ciclo.-** Se produce cuando se presenta obstrucciones o perdida de la señal debido a la presencia de árboles, edificios, puentes, montañas, baja calidad del servicio, falla del software del receptor o mal funcionamiento del oscilador del satélite. El software interno del receptor es capaz de detectar y corregir la perdida de ciclos. (AYALA RAMÍREZ ALFREDO y otros, 2012, P. 58)
- **Multipath o Multitrayectorias.-** Este error se presenta cuando el equipo está ubicado en superficies u objetos reflectores que son capaces de interferir sobre la señal y hacer que esta no viaje directamente a la antena receptora. Las señales reflejadas se superponen a la señal directa son más largas debido al tiempo de propagación de la señal es más largo causando la distorsión de la amplitud de la onda. (PILAPANTA CHRISTIAN, 2013, p. 29)

#### *1.2.5.3 Errores Relativos al Receptor*

- **Estado de reloj receptor.-** Cuando el reloj del receptor recibe la señal del satélite se genera un desfase en el tiempo afectando las medidas de pseudorange realizada para cada época, también se produce un error en los osciladores del receptor. (AYALA RAMÍREZ ALFREDO y otros, 2012, P. 60)
- **Variación del centro de fase de la antena.-** Este error se produce cuando no coincide el centro radioeléctrico o punto al que realmente llega la señal y el centro mecánico o físico, generando un error residual por excentricidad que puede ser de unos milímetros. (AYALA RAMÍREZ ALFREDO y otros, 2012, p. 60)



**Tabla 2-1:** Fuentes y Efectos de los Errores de GPS

<b>FUENTE</b>	<b>ERRORES</b>
Satélite	Atraso entre portadoras en el hardware del satélite y receptor Error de la Órbita Error del Reloj Relatividad
Propagación de la Señal	Refracción Troposférica Refracción Ionosférica Interrupción de la Señal Multipath (Rutas Multitrayectos )
Receptor/ Antena	Error del Reloj Error entre los Canales Centro de Fase de la Antena
Estación	Error en la Coordenadas Mareas Terrestres y Oceánicas Movimiento del Polo Cargas de los Océanos Presión Atmosférica

**Fuente:** (NAVARRO JUAN JOSÉ, 2004, p. 18)

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

**Tabla 3-1:** Resumen de los Errores de GPS

<b>FUENTE DE ERROR</b>	<b>GPS ESTÁNDAR (mts)</b>	<b>GPS DIFERENCIAL (mts)</b>
Reloj del Satélite	1.5	0
Errores Orbitales	2.5	0
Ionosfera	5.0	0.4
Troposfera	0.5	0.2
Ruido en el Receptor	0.3	0.3
Disponibilidad Selectiva	0.6	0.6
SA	30	0
<b>Exactitud Promedio de Posición</b>		
Horizontal	50	1.3
Vertical	78	2.0
3-D	93	2.8

**Fuente:** (AYALA RAMÍREZ ALFREDO y otros, 2012, p. 62)

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

### **1.2.6 Diferencial de GPS**

De acuerdo al autor (GARCÍA DAVID, 2008, p. 46)

Este sistema muestra varias fuentes de error (errores de los relojes de los satélites, efemérides, retardos atmosféricos), para calcular el error de las medidas de la estación de referencia y utilizarla como corrección para las observaciones del receptor de coordenadas desconocidas mejorando así la precisión. Esa técnica se puede utilizar en pos proceso o en navegación mediante un radio enlace.

Se ha desarrollado un sistema que aumenta la precisión del GPS es el Diferencial de GPS que posee una señal de corrección adicional. Este DGPS utiliza estaciones de referencia con un punto conocido para calcular y corregir los errores sistemáticos. Esta estación de referencia realiza los cálculos de las correcciones de cada señal de los satélites y transmite esas correcciones al receptor remoto del GPS; aplicando estas correcciones a cada satélite utilizado para el cálculo de la posición. (ORTÍZ CASTELÁN MARIO 2007, p. 96)

El diferencial de GPS introduce una mayor exactitud del sistema; este tipo de receptor recibe y procesa la información del satélite, información adicional de manera simultánea. La información complementaria receptada permite corregir las inexactitudes que se introducen en las señales. En este caso, la estación terrestre transmite al receptor GPS los ajustes necesarios en todo momento, primero lo contrasta con su propia información y realiza las correcciones necesarias con gran exactitud. (MARÍN ANZURES REFUGIO, 2007, p. 61)

Según (MONTENEGRO KLEVER y otros, 2015, p. 7)

El Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) es una técnica para mejorar la precisión del posicionamiento GPS. En GPS Diferencial es la señal de corrección de error que se transmite a los alrededores con un alcance máximo de 1000 Km. Cualquier pérdida de corrección durante la transmisión puede dar lugar a inexactitud.

Este sistema mejora la precisión dentro de la posición real de los objetos e incluso en movimiento para situaciones estacionarias, además es una herramienta que se usa en trabajos de

posicionamiento en escala de gran precisión. DGPS funciona a través de dos receptores, uno estacionario y un móvil los que permite hacer mediciones de precisión en diferentes lugares.

#### *1.2.6.1 Tipos de Implementación del DGPS*

Existen dos formas de implementar mediciones diferenciales; la una se basa en mediciones de pseudorango y la otra medición se basa en la fase de portadora. (PUGLIA GUSTAVO y otros, 2012, p. 22)

##### *1.2.6.1.1 Ranging-Code Diferencial GPS*

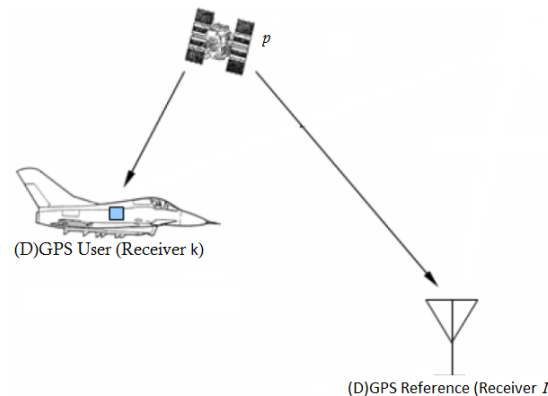
**Según** (PUGLIA GUSTAVO y otros, 2012, p. 23)

Utiliza mediciones de pseudorango, en el primer caso se dice que la estación de referencia (ER) ubicada en tierra substraer la distancia real entre ella y cada uno de los satélites involucrados que ya calculado previamente este dato. La ER luego envía esta corrección calculada al receptor usuario (RU) quien elige la corrección apropiada para cada uno de los satélites y se la resta del pseudorango medido. El RU solo debe utilizar satélites de los cuales recibe las correcciones.

Esta técnica se basa en las medidas del pseudorango de las estaciones de referencia (RS) para calcular la corrección en la posición del receptor usuario (UR). Las RS se descargan los datos en la computadora y realizan las correcciones de pseudorango para cada uno de los satélites visibles. La corrección se calcula restando la verdadera distancia, determinada por el estudio de la posición y el conocimiento de los parámetros orbitales.

El UR selecciona la corrección apropiada para cada uno de los satélites que están en vista y soluciona su posición, de manera que obtiene la corrección del pseudorango que ha medido. El receptor móvil solo debe usar aquellos satélites para los cuales se han obtenido las correcciones. (RIVERA JOSÉ MARÍA, 2014, p. 18)

#### 1.2.6.1.1.1 Diferencia Simple del Ranging-Code Diferencial GPS

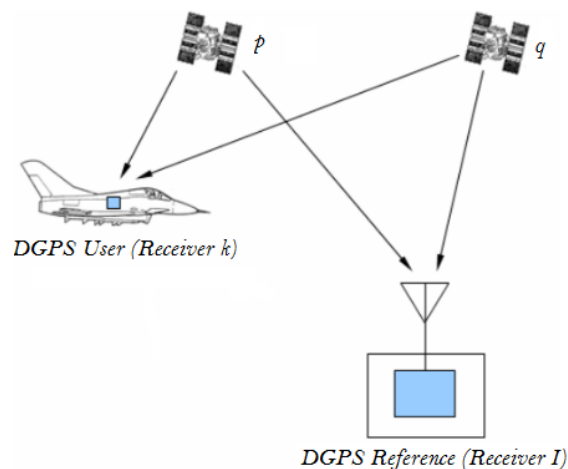


**Figura 16.1** Sistema DGPS para Correcciones Simples

Fuente: (RIVERA JOSÉ MARÍA, 2014, p. 18)

Se dice que para el caso de la RS, se obtiene la medida de pseudorango que el propio receptor genera, se le resta el verdadero valor de la distancia que es conocida por el estudio de la posición fija, se obtiene el pseudorango corregido (PRC). Mediante estas operaciones se puede eliminar el reloj del satélite y los errores orbitales, pertenecientes a la posición del satélite, entre otros errores que se puede disminuir o eliminar es la disponibilidad selectiva si estas señales son transmitidas a cada receptor se lo hace en el mismo tiempo. Cualquier error atmosférico también se verá reducido por esta técnica. (RIVERA JOSÉ MARÍA, 2014, p.18)

#### 1.2.6.1.1.2 Diferencia Doble del Ranging-Code Diferencial GPS



**Figura 17.1** Sistema DGPS para Correcciones Dobles

Fuente: (RIVERA JOSÉ MARÍA, 2014, p.19)

Se puede hacer diferencia usando dos satélites y dos receptores; estas diferencias dobles puede generar mediante dos correcciones simples y diferenciándolas entre ellas. Este procedimiento elimina toda la dependencia con los satélites, mitiga los errores de multipath y los errores atmosféricos. (PUGLIA GUSTAVO y otros, 2012, p.26)

#### 1.2.6.1.2 *Carrier-Phase Diferencial de GPS*

Esta técnica consiste en la diferenciación de la fase de portadora que recibe el receptor proveniente del satélite y la fase de portadora generada por el oscilador del receptor. La primera diferencia que se usa es la fase medida por el UR y al RS para el mismo satélite, de esta manera se logra eliminar el error del reloj del satélite; esto se repite cada segundo. La segunda diferencia se la realiza mediante la obtención de la primera diferencia para el primer satélite y la primera diferencia del segundo satélite permitiendo eliminar el sesgo del reloj; repitiéndose para cada pareja de satélites. (RIVERA JOSÉ MARÍA, 2014, p. 20)

**Tabla 4-1:** Ventajas y Desventajas de los Tipos de DGPS

<b>Tipos de Implementación del DGPS</b>	<b>Ranging-code Differential GPS</b>	<b>Carrier Phase Differential GPS</b>
Ventajas	Cálculos Simples	
	Ideal en Tiempo real	Más Preciso
	Fácil Implementación	
Desventajas		Sujeto a Retardos
	Menos preciso	Más instrumentos
		Compleja Implementación

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

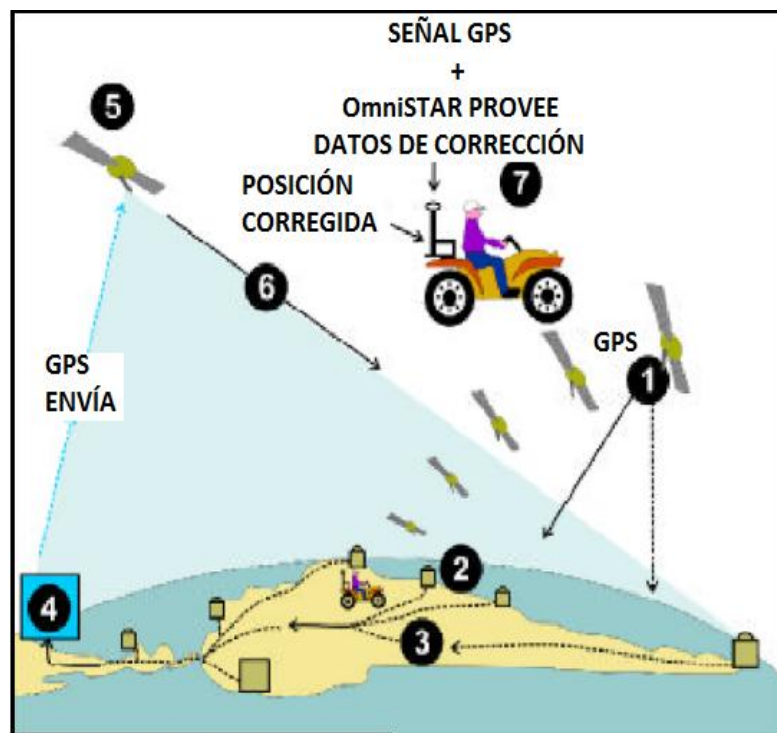
#### 1.2.6.1.3 *Corrección Diferencial GPS en Tiempo Real*

Según (PUGLIA GUSTAVO, 2012, p.26)

Este sistema de Corrección en tiempo Real, es aquel que consta de una base de referencia que cada instante de tiempo está enviando correcciones a los receptores GPS, y que también está formado por receptores que reciben la señal de los satélites calculando la posición, velocidad y dirección de viaje con un margen de error permitido,

teniendo la capacidad de recibir, desmoldar, descifrar, e involucrar en sus cálculos la información que aporta la base de referencia DGPS. El resultado de este sistema es que arroja posicionamiento diferenciales corregidos dando una alta precisión.

En este caso la información generada es transmitida por la Base hacia el GPS móvil para que la posición que se determina ya incorpore la corrección. En áreas pequeñas se puede utilizar sistemas de transmisiones VHF. Para distancias medias se utilizan transmisores de baja frecuencia como los utilizados por los Faros de Servicio de los Guardacostas de los Estados Unidos (sistema WAS). Finalmente, para cubrir extensas áreas, llegando a un continente completo, se recurre el uso de satélites geoestacionarios como, por ejemplo los de la empresa OMNISTAR.



**FIGURA 18.1** Corrección Diferencial en Tiempo Real  
Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

## 1.2.7 Filtro de Hatch

### 1.2.7.1 Concepto

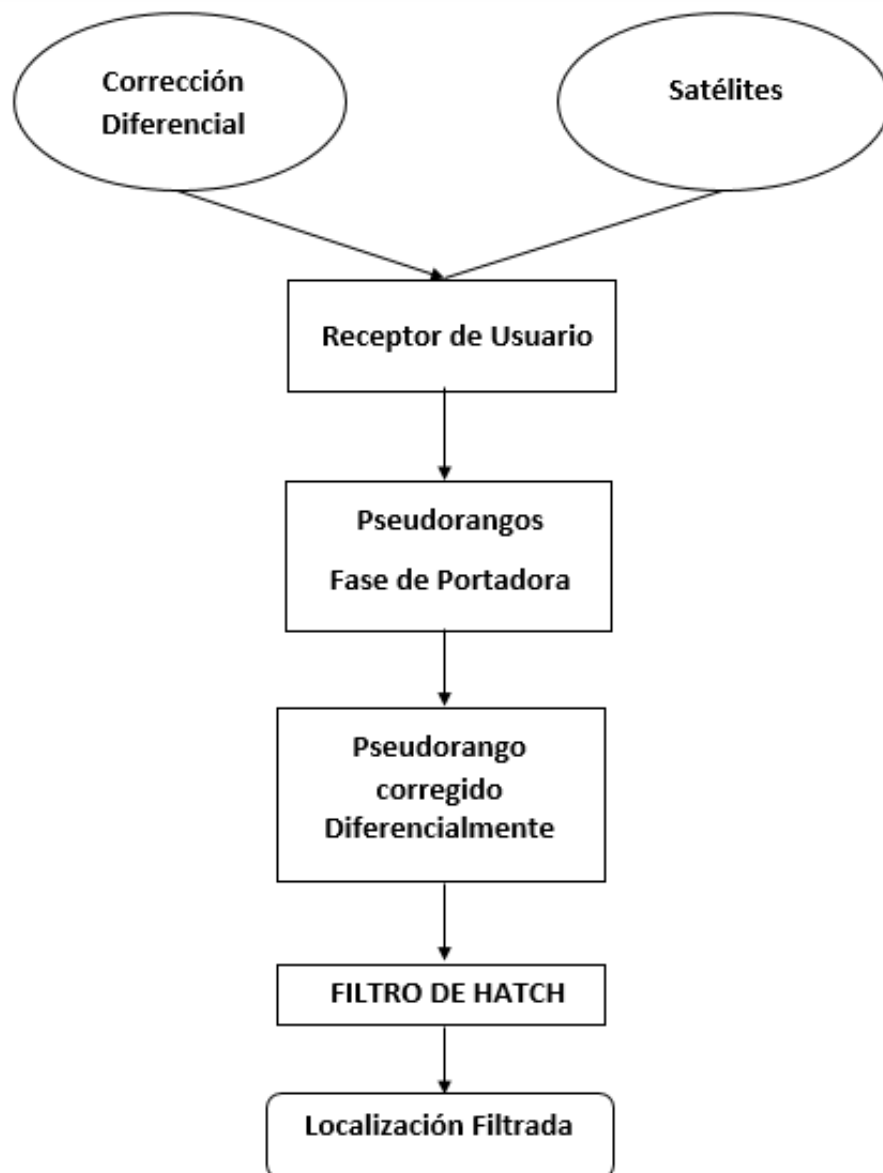
Los receptores GPS proporcionan diversas medidas que se pueden utilizar para mejorar la precisión de la posición y la detección de fallas. El pseudorango y la fase de portadora medida por un solo receptor están contaminados por una gran variedad de fuentes de

errores como el ruido térmico, error orientado por el satélite, retardo ionosférico, retraso troposférico y perturbaciones por trayecto múltiple. Utilizando un receptor de usuario y un receptor de referencia que se encuentran muy cerca se puede eliminar de manera eficaz las fuentes de error antes ya mencionadas. (SUDHA NEELIMA THIPPARTHI, 2004, p. 41)

Para eliminar estas fuente de errores el Sr. Ron Hatch propuso en los años 80 un algoritmo que permita suavizar el pseudorango usando observaciones en la fase de portadora a esto se lo llamo código de suavizado. Este código de suavizado se basa en la fase de portadora integrada que se convierte a la unidad de longitud y esta unidad de longitud es la medida que va desde el satélite al receptor. El cambio de los pseudorangos que se da en diferentes tiempos es igual al cambio en el rango de soporte. Este cambio que se presenta en el rango de la portadora permite determinar la precisión en el orden de los mm y el cambio que se presenta en la pseudorango permite determinar la precisión en el orden de los metros. (SUDHA NEELIMA THIPPARTHI, 2004, p. 41)

Los datos que recibe el receptor desde el satélite son el pseudorango, la fase de portadora, el tiempo de transmisión, los elementos orbitales del satélite y las correcciones diferenciales. Estas correcciones diferenciales se aplican a los pseudorangos y estos se filtran con respecto al cambio de la fase de portadora; este es el paso clave en el algoritmo de RDHF. Después de ser filtrado los pseudorangos es resuelto por el receptor del usuario desconocido. (SUDHA NEELIMA THIPPARTHI, 2004, p. 45)

#### *1.2.7.2 Diagrama de bloques del Filtro de Hatch*



**FIGURA 19.1.** Diagrama de Boques del Filtro de Hatch  
**Fuente:** (SUDHA NEELIMA THIPPARTHI, 2004, p. 46)

### 1.2.7.3 Modelo Matemático del Filtro de Hatch

Para un solo receptor de frecuencia, el pseudorango y la fase de portadora se expresa como:

#### Fase de Portadora

$$P_i^j = \rho + \delta t_i * c - \delta t^j * c + Tp + Ip \quad (1.9)$$



### Código de la Portadora

$$\phi_i^j = \rho + \delta t_i * c - \delta t^j * c + Tp - Ip + \lambda * N_i^j \quad (1.10)$$

El subíndice "i" y superíndice "j" se omiten por que se trabaja con un solo receptor y un solo satélite que este se puede aplicar de manera similar a todos los satélites visibles. Además, el retraso troposférico puede despreciarse para longitudes cortas. (PATRICK Y, 1999, p. 127)

Donde:

$$\gamma(t) = \rho + \delta t_i * c - \delta t^j * c \quad (1.11)$$

Las ecuaciones de fase de portadora y pseudorangos se simplifican:

$$P(t) = \gamma(t) + Ip \quad (1.12)$$

$$\phi(t) = \gamma(t) - Ip \quad (1.13)$$

El cambio de fase y código con el tiempo viene dado por:

$$\Delta P(t) = \Delta \gamma(t) + \Delta Ip \quad (1.14)$$

$$\Delta \phi(t) = \Delta \gamma(t) - \Delta Ip \quad (1.15)$$

$\Delta Ip$ : Es un valor pequeño si las dos épocas de medición están muy juntas, por lo que el retardo ionosférico se puede tomar en cuenta en la diferenciación de tiempo.

Un valor aproximado del pseudorango inicial de fase de la portadora es:

$$\hat{P}(t_0)_i = P(\hat{t}_i) - [\phi(t_i) - \phi(t_0)] \quad (1.16)$$

El promedio de estimación de la época "n" está dada por:

$$P_{avg}(t_0) = \frac{1}{n} \sum_i \hat{P}(t_0)_i \quad (1.17)$$

Después de haber obtenido una estimación del  $P_{avg}(t_0)$ , el suavizado de la pseudorango puede ser reconstruido como:

$$P_{avg}(t_i) = P_{avg}(t^0) + [\phi(t_i) - \phi(t_0)] \quad (1.18)$$

Una implementación eficiente de la idea anterior en términos de filtro de la longitud  $M$  es:

$$P_{fil}(t_i) = \frac{1}{M} * P(t_i) + \frac{M-1}{M} * [P_{fil}(t_i - 1) + (\phi(t_i) - \phi(t_i - 1))] \quad (1.19)$$

### 1.2.8 Estación Receptora Septentrio



**FIGURA 20.1** Estación Receptora Septentrio

Septentrio PolaRx3 es un receptor GLONASS/GPS de doble frecuencia; diseñado especialmente para el funcionamiento de la estación de referencia y registro de campo, recibe señales L1/L2 de un máximo de 24 satélites en 66 canales. Este obtiene la mejor calidad de datos de bajo nivel de ruido, e incluso de anti-spoofing.

El PolaRx3 posee una carcasa resistente y aprueba de agua con conectores robustos lo que permite su uso en entornos difíciles y remotos. Su comunicación con las unidades es fácil con el acceso TCP/IP a través de puertos Ethernet.

El polaRx3 muestra una precisión que va desde el decímetro hasta el centímetro de posicionamiento cinemático.

**Tabla 5-1:** Especificaciones Técnicas de la Estación de Recepción Septentrio

<i>Canales</i>	<i>Canales: 66 para seguimiento de señales GPS / GLONASS e incluyendo 3 para SBAS</i>
<i>Frecuencia</i>	<i>Doble código L1/L2</i>
<i>Registro</i>	<i>A bordo (1GB)</i>

<i>Puertos</i>	<i>2 RS232, 1USB, 1 Ethernet</i>
<i>LEDs</i>	<i>6 programables</i>
<i>Tamaño</i>	<i>285 * 140 * 37 mm</i>
<i>Peso</i>	<i>930 g</i>
<i>Temperatura de Funcionamiento</i>	<i>-40 grados Celsius</i> <i>+70 grados Celsius</i>

*Fuente:* <http://www.terrisgps.com/product/septentrio-polarx3-receiver/>

#### *1.2.8.1 Software*

El software utilizado para controlar el receptor Rxcontrol, este programa es proporcionado por el Septentrio para controlar su familia de receptores.

La ventana principal de Rxcontrol es la parte central del software, ofrece al usuario una visión general de la información relacionada con la posición, los sistemas de satélites en uso y el estado del receptor Septentrio. Cuando la ventana permanece vacía después de haber conectado con el receptor, esto significa que algo está mal con la conexión o que el receptor no está encendido; esto pasa cuando el puerto de la PC está equivocado o la configuración de la serie de la PC no coincide con la configuración del receptor.

La ventana principal de Rxcontrol es la ubicación central para acceder a toda la información relacionada con el receptor puesto que este emite información de navegación y bloques de datos en forma binaria o en oraciones ASCII. Este acceso a la vista está disponible a través de la barra de herramienta de la ventana de Rxcontrol.

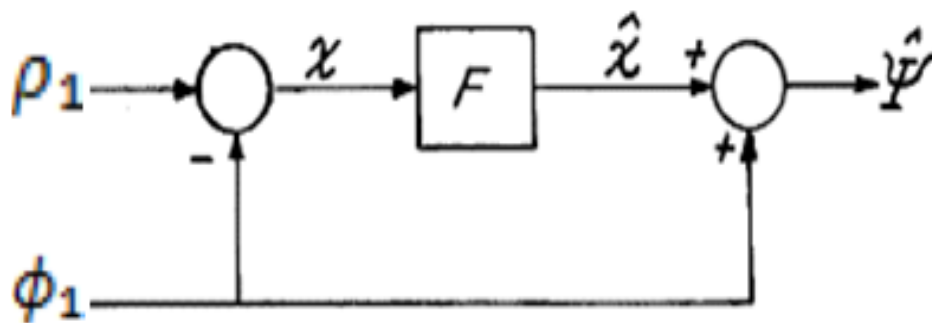
## CAPITULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

El trabajo de titulación se desarrolla en dos etapas, la primera etapa consta de la recolección de los datos (Archivos RINEX) de la Estación de Receptora (SEPTENTRIO) y su posterior manipulación, la segunda etapa consiste en la implementación del Algoritmo de Filtro de Hatch en Simple Frecuencia en el software de Matlab.

#### 2.1 Variables del Filtro de Hatch

En esta parte la portadora-suaviza en frecuencia simple examinara los errores y limitaciones del proceso de la Técnica del Diferencial de GPS.



**FIGURA 1.2** Filtro de Hatch

Fuente: (PATRICK Y, y otros, 1999, p.128)

#### Parámetros del Filtro de Hatch

$\rho_1$  Entrada de código pseudorange

$\phi_1$  Medición de pseudorange de fase de entrada enlazada

$X$  Código menos portador (CMC)

$\hat{X}$  Resultado del filtro paso bajo

$\hat{\Psi}$  Medición del código suavizado

## 2.2 Medida en una solo Frecuencia

Primero se realiza el cálculo de la longitud de onda de la frecuencia L1 utilizando la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{c}{fL1}$$

Se genera dos medidas para la entrada del filtro de HATCH que son el código de portadora y la fase de portadora representados a continuación:

$$\rho_1 = r + \iota_1 + \eta_{\rho_1} \text{ (Fase de portadora)}$$

$$\phi_1 = r - \iota_1 + N_1 + \eta_{\phi_1} \text{ (Código de portadora)}$$

Donde:

- $\rho_1$ : Medición de pseudorango de código L1.
- $r$ : Rango geométrico verdadero, más otros errores comunes de pseudorango y de fase de portadora, incluyendo errores del reloj y efemérides del vehículo espacial (SV), errores de la disponibilidad selectiva (SA) y errores de la troposfera.
- $\iota_1$ : Iono L1
- $\eta_{\rho_1}$ : Ruido de seguimiento de código L1 y multipath (multitrayecto)
- $\phi_1$ : Medición de la fase de portadora L1
- $N_1$ : Ambigüedad de rango de la portadora L1
- $\eta_{\phi_1}$ : Ruido de seguimiento de la portadora L1 y multipath (multitrayecto)

Unos de los errores producidos es la ambigüedad de la fase de portadora y es descrita como:

$$N_1 = n_1 \lambda_1$$

Donde:

- $n_1$ : Es un número entero
- $\lambda_1$ : Es la portadora de longitud de onda L1.

### 2.2.1 Proceso de Portadora-Suavizada

El objetivo de suavizar la portadora es producir una medición del pseudorango con el ruido de seguimiento de código y la eliminación de los trayectos múltiples. Esto se puede lograr con el

filtro complementario como se ilustra en la figura (fig. 1.2). Las entradas del filtro, están representadas por las medidas del pseudorango de código generalizada ( $\rho_1$ ) y la medida de fase de portadora generalizada ( $\phi_1$ ) que se realiza el proceso de diferenciación generando el código-menos- fase de portadora (CMC),  $x$ . Esta señal es filtrada por el filtro pasa bajo,  $F$ , para atenuar el ruido de código y los trayectos múltiples. El resultado es  $\hat{X}$ , esto se recombina con la entrada,  $\phi$ , para formar la salida del filtro,  $\Psi$ , que representa la medición del código suavizado. (PATRICK Y, 1999, p. 128)

Entradas del Filtro de Hatch:

$$\rho_1 = r + \iota_1 + \eta_{\rho_1} \text{ (Fase de portadora)}$$

$$\phi_1 = r - \iota_1 + N_1 + \eta_{\phi_1} \text{ (Código de portadora)}$$

Los componentes del modelo de la señal CMC (código - portadora) son:

$$X = \rho_1 - \phi_1$$

Al restar el código menos la fase de portadora se genera el código (CMC= X) permitiendo la eliminación de algunos errores que están presentes en la señal como (r).

$$X = r + \iota_1 + \eta_{\rho_1} - (r - \iota_1 + N_1 + \eta_{\phi_1})$$

$$X = r + \iota_1 + \eta_{\rho_1} - r + \iota_1 - N_1 - \eta_{\phi_1}$$

Se realizan las operaciones correspondientes quedando la ecuación siguiente:

$$X = 2\iota_1 - N_1 + (\eta_{\rho_1} - \eta_{\phi_1})$$

Luego la señal es filtrada por el filtro pasa bajo,  $F$ , para atenuar el ruido de código y los trayectos múltiples.

El suavizado de CMC es:

$$\hat{X} = FX$$

$$\hat{X} = F (2\iota_1 - N_1 + (\eta_{\rho_1} - \eta_{\phi_1}))$$

$$\hat{X} = 2F\iota_1 - N_1 + F(\eta_{\rho_1} - \eta_{\phi_1})$$

Donde los transitorios del filtro han decaído debido a la ambigüedad constante de la fase de portadora. El pseudorango suavizado viene dado por los términos de ruido y las particiones de la ionosfera como se muestra a continuación:

$$\hat{\Psi} = \hat{X} + \phi_1$$

El resultado es  $\hat{X}$ , este resultado se recombina con la entrada,  $\phi_1$ , para formar la salida del filtro,  $\hat{\Psi}$ , que representa la medición del código suavizado.

$$\hat{\Psi} = r + \frac{(2F - 1)\iota_1}{I_1} + \frac{F\eta_{\rho_1} + (1 - F)\eta_{\phi_1}}{\epsilon_1}$$

$$Error\ Ionosferico = (2F - 1)\iota_1 = I_1$$

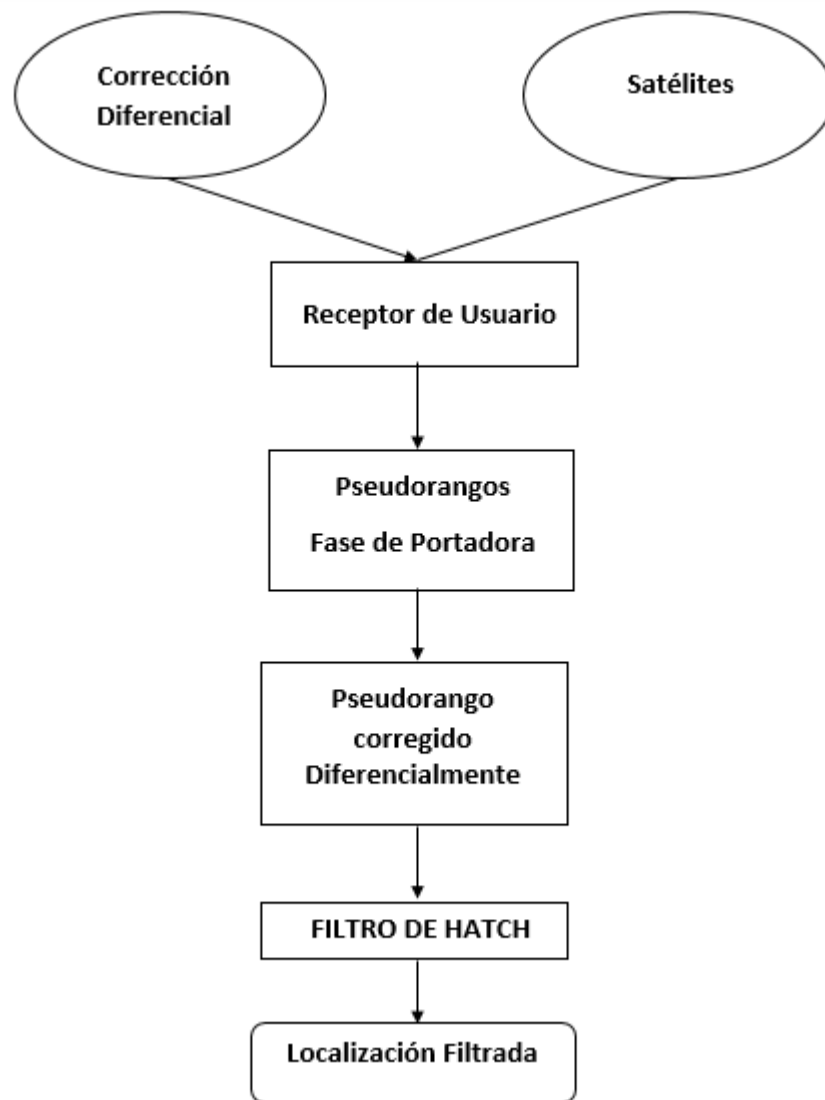
$$Errores\ Multipath\ y\ Ruido = F\eta_{\rho_1} + (1 - F)\eta_{\phi_1} = \epsilon_1$$

Se reemplaza los valores de la ionosfera y el ruido quedando la siguiente ecuación:

$$\hat{\Psi} = r + I_1 + \epsilon_1$$

La salida del filtro está dada por,  $\hat{\Psi}$ , que representa la medición del código suavizado

### 2.2.2 Diagrama de Bloques del Filtro de Hatch



**FIGURA 2.2.** Diagrama del Filtro de Hatch  
**Fuente:** : (SUDHA NEELIMA THIPPARTHI, 2004, p. 46)

### 2.3 Tiempo Optimo ( $\tau$ )

La portadora de una sola frecuencia suavizada utiliza variables  $\rho_1$  y  $\phi_1$  que posee un tiempo continuo ( $\tau$ ) de ganancia fija, con este filtro de primer orden, se asume que la función de transferencia es:

$$F(s) = \frac{1}{\tau s + 1}$$

Donde  $\tau$  es la constante de tiempo suavizado. Existe dos variables de tiempo la una variable es el tiempo continuo donde se genera las mediciones y es usado cada vez que la constante de tiempo suavizado se compara con el tiempo de medición actualizado. Los resultados son



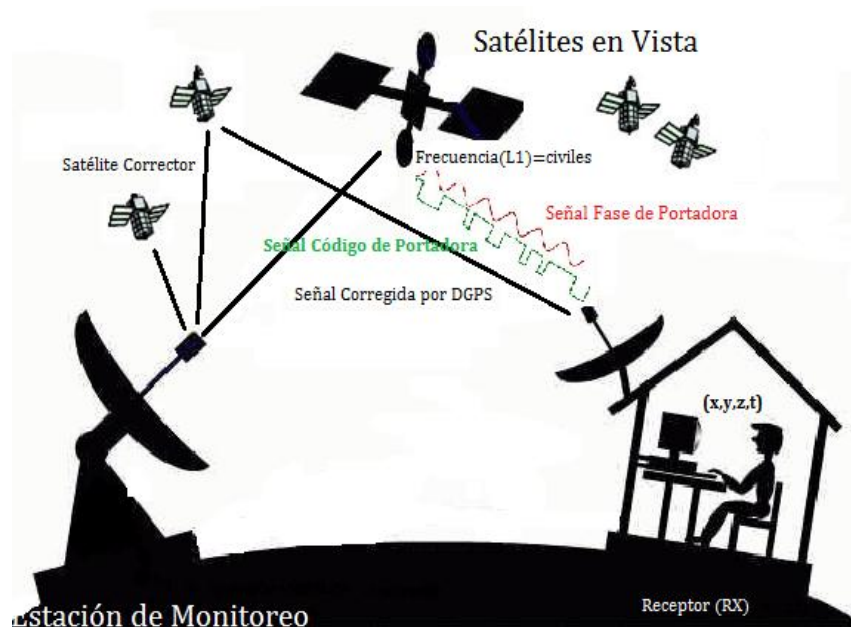
derivados en gran parte y estos no son afectados por el uso de orden superior ni por el filtro de ganancia variable en el tiempo.

La constante de tiempo ( $\tau$ ) proporciona una atenuación significativa de error y una estabilidad del filtro donde se puede observar la mejora en la precisión de la posición de la señal muestreada luego de este tiempo la señal tiende a sufrir un desfase mayor debido a los errores que están presentes en la misma.

## 2.4 Escenario del Filtro de Hatch

Se obtiene el cálculo de la posición (espacio  $(x, y, z)$ , velocidad y tiempo  $(t)$ ) generada por los satélites que se encuentran en vista mediante el método matemático de la triangulación. Esta señal es receptada por la estación de monitoreo.

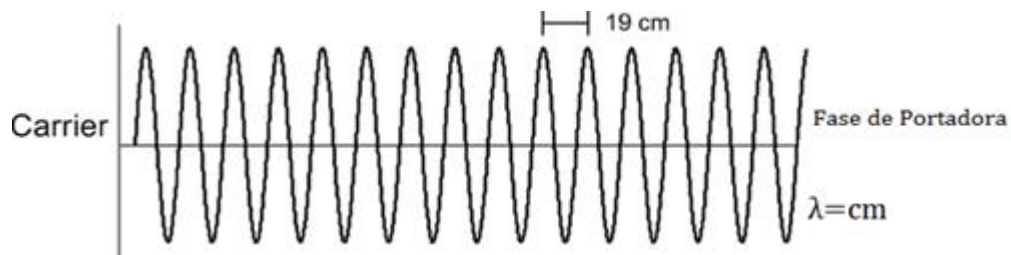
La frecuencia utilizada por el satélite es la L1 que es de uso exclusivamente civil y este genera dos medidas que son: el código de la portadora (code-phase) y la fase de portadora (carrier-phase) que son receptadas por el usuario receptor.



**FIGURA 3.2.** Generación de la Señal L1  
Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

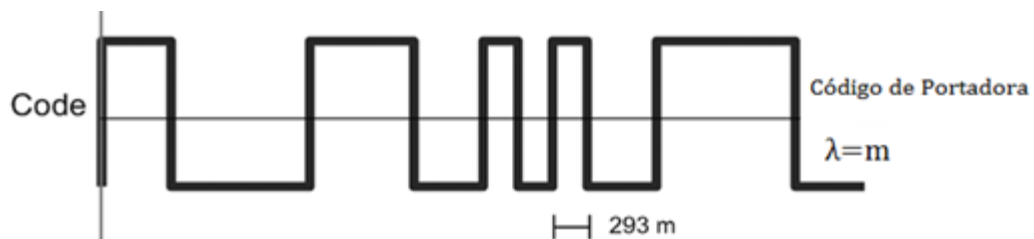
La longitud de onda generada por la señal de fase de portadora se da en orden de los cm, dando una mejor precisión de la posición del sistema GPS y el error que esta produce es la ambigüedad (es un número arbitrario de ciclos o un número desconocidos de ciclos de la fase

de portadora, esta onda es comparada entre la generada por el satélite con la generada por el receptor).



**FIGURA 4.2.** Señal de Fase de Portadora  
Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

La longitud de onda generada por la señal de código de portadora se da en orden de los m, siendo un problema más ruidoso; a su vez este error se no permite mejorar la precisión de la posición con respecto a la longitud de onda de la fase de portadora; los errores producidos por esta señal son al ruido y el mutipath (o rutas multitrayectos).



**FIGURA 5.2.** Señal de Código de Portadora  
Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

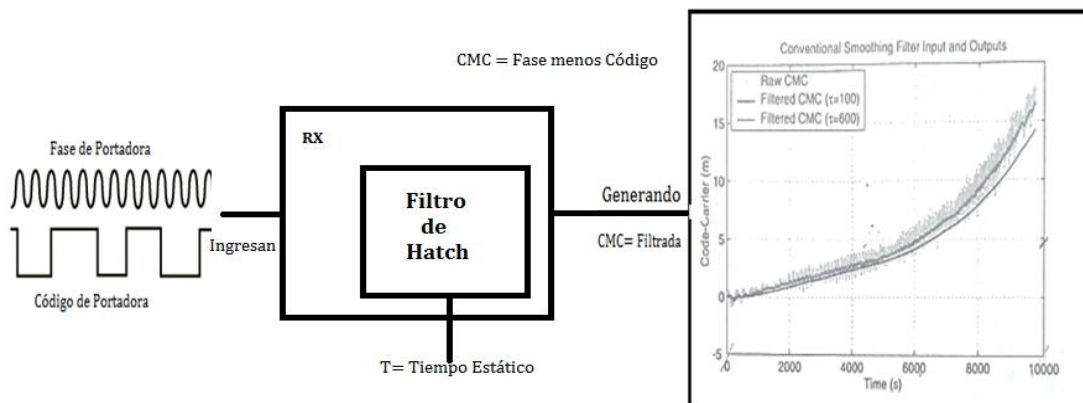
En la figura (6.2) se explica todo el funcionamiento del Algoritmo que simula ser el Filtro de Hatch en un tiempo optimo ( $\tau$ ); en primer lugar se extrae toda la información generada por los satélites que están en vista en el momento de la petición y mínimo deben ser 4, esta información es almacenada en las estaciones receptoras que están ubicadas en tierra. Los datos almacenados son los Archivos RINEX de Observación y Navegación de donde se extraer los códigos que se necesita para el funcionamiento del filtro de Hatch; la técnica aplicada en la extracción de los datos se detalla claramente en la tesis de los compañeros (Ángel Gustavo Ortega Zhuilema y Franklin Benito López Taday).

Posterior a la extracción de los códigos de los archivos RINEX de observación y navegación se genera dos medidas: el código de la portadora, la fase de portadora que se encuentran a la entrada del receptor, luego se realiza una diferenciación de las dos señales para eliminar algunos

errores y otros minimizarlos en una sola variable dando como resultado el código (CMC); que ingresa al filtro de Hatch para ser filtrada en un tiempo determinado o tiempo optimo ( $\tau$ ) que permitirá ver en la gráfica la mejora en la precisión.

Luego de ser procesada las medidas se genera el código (CMC) filtrado que junto con la medida de entrada de código de portadora a la salida se realiza una comparación entre la gráfica inicial con la resultante para ver la mejora que hay en la precisión de la posición del sistema estándar de GPS.

Se hace una comparación entre la señal inicial con la señal filtrada donde se puede ver en la gráfica generada al final del filtro de Hatch; aquí están las variables usadas para la representación de la misma, en el eje de las Y se ve la señal (CMC original y CMC filtrada) dada en metros (m) y en el eje de las X se encuentra la época dado en segundos (s).



**FIGURA 6-2.** Diagrama del Funcionamiento del Filtro de Hatch  
Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

## 2.5 Desarrollo del código en el Software Matlab

Pasos para el desarrollo e implementación del Algoritmo de Filtro de Hatch

- Extracción de la información de los Archivos RINEX
- Llamado de la información en Matlab
- Aplicación de la Técnica de Suavizado
- Resultados

### 2.5.1 Extracción de la Información de los Archivos RINEX

En esta sección se lee todo el archivo RINEX donde se extrae la información que se necesita; y lo que más se utiliza es:

- Código y fase de portadora representado por las variables (L1, L2, C1, C2) obtenidas en metros.
- Satélites en Vista

### ***2.5.2 Llamado de la información en Matlab***

Después de la lectura de los archivos RINEX de observación y navegación, estos se almacenan en un matriz general llamada “matrix\_collect”; luego se procede a la manipulación de la información con el objetivo de ordenar por parámetros como: satélite y época (tiempo de recepción) para cada fase de portadora y código, se obtiene los primeros resultados de los errores que se presentan en la señal de GPS.

### ***2.5.3 Aplicación de la Técnica de Suavizado en frecuencia Simple***

Luego de la extracción de la información de los archivos RINEX se genera dos medidas: el código de la portadora, la fase de portadora ambigua donde se puede observar los errores como: ruido térmico, ionosférico, troposférico, multipath entre otros, que están presentes y para la eliminación de estos se aplica la técnica de suavizado en frecuencia simple que permitirá mejorar los niveles de precisión en el posicionamiento estándar GPS.

## CAPITULO III

### 3 MARCO DE RESULTADOS

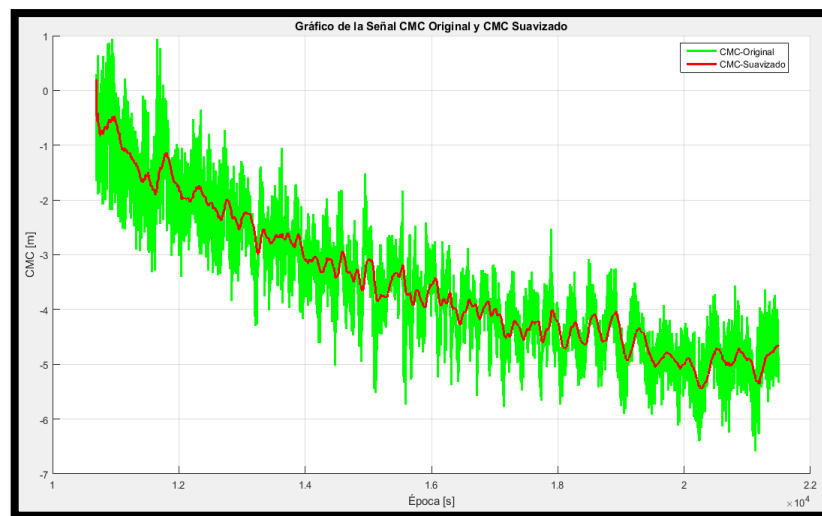
En este capítulo se presenta los resultados obtenidos del Algoritmo implementado para simular el Filtro de Hatch con configuración simple desarrollados en el capítulo anterior. Se realizara el análisis de la efectividad del algoritmo, para la cual se tomó la mejor muestra de datos de la estación receptora SEPTENTRIO. Todos los parámetros utilizados en el algoritmo se detallan en la sección 2.4 (pg. 50)

#### 3.1 Análisis del Algoritmo del Filtro de Hatch

##### 3.1.1 Tiempo Optimo ( $\tau=100$ )

Para generar la gráfica de la señal CMC filtrada y original se aplica un tiempo máximo de 100 segundos que permite mantener la estabilidad del filtro y la atenuación de los errores ionosféricos, ruido térmico entre otros que están presentes en la misma. Estas graficas generadas son de todos los satélites que se encuentran en vista en el momento de la petición.

##### Satélite # 5 en vista



**FIGURA 1.3.** Grafica del satélite # 5 con señal original y corregida  $\tau=100$   
**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

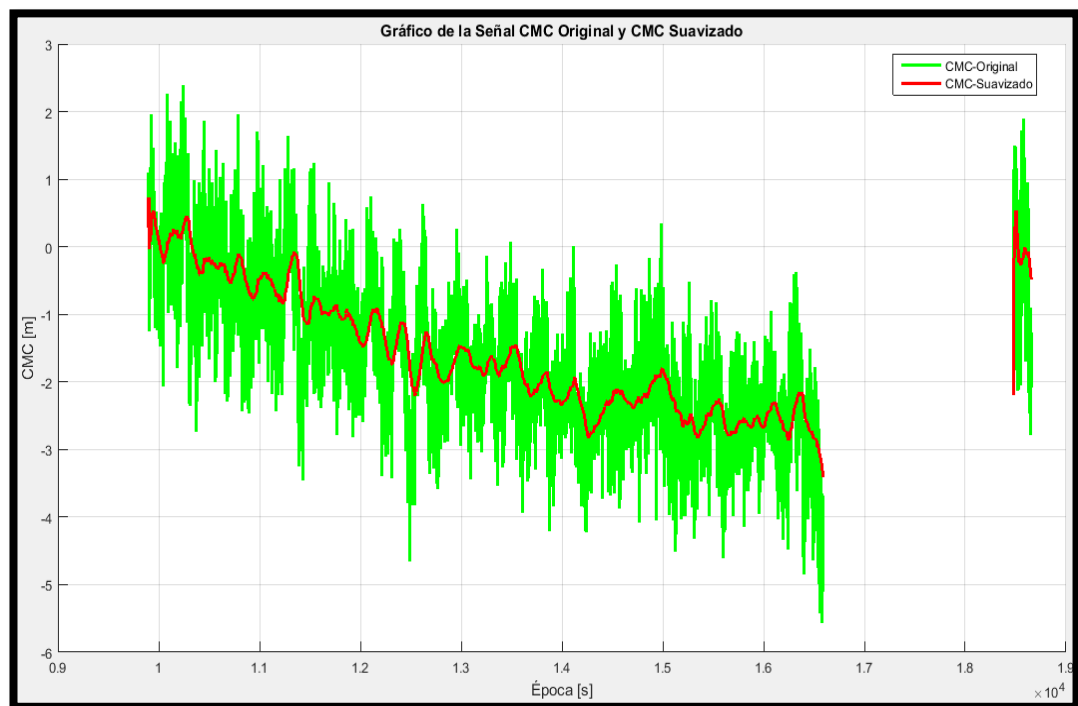
Las épocas analizadas fueron ( $2.2 \times 10^4$  s) como se ve en la **Figura 1-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 70 centímetros representando con el 73,68% valor máximo y el valor mínimo es -113 centímetros representado con el 17,17% con respecto al valor total, en la corrección hecha por el algoritmo se redujo a más de la mitad los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 1-3**: muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 1-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 5 en  $\tau=100$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
Valor Máximo	0.95m (95 cm)	0.25m (25cm)
Valor Mínimo	-6.58m (-658 cm)	-5.45 m (-545 cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

#### Satélite # 8 en vista



**FIGURA 2.3.** Grafica del satélite # 8 con señal original y corregida  $\tau=100$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron ( $1.9 \times 10^4$  s) como se ve en la **Figura 2-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 171 centímetros representando con el 71,25% valor máximo y el valor mínimo es -215 centímetros representado con el 38,66 % con respecto al valor total, en la corrección hecha por el

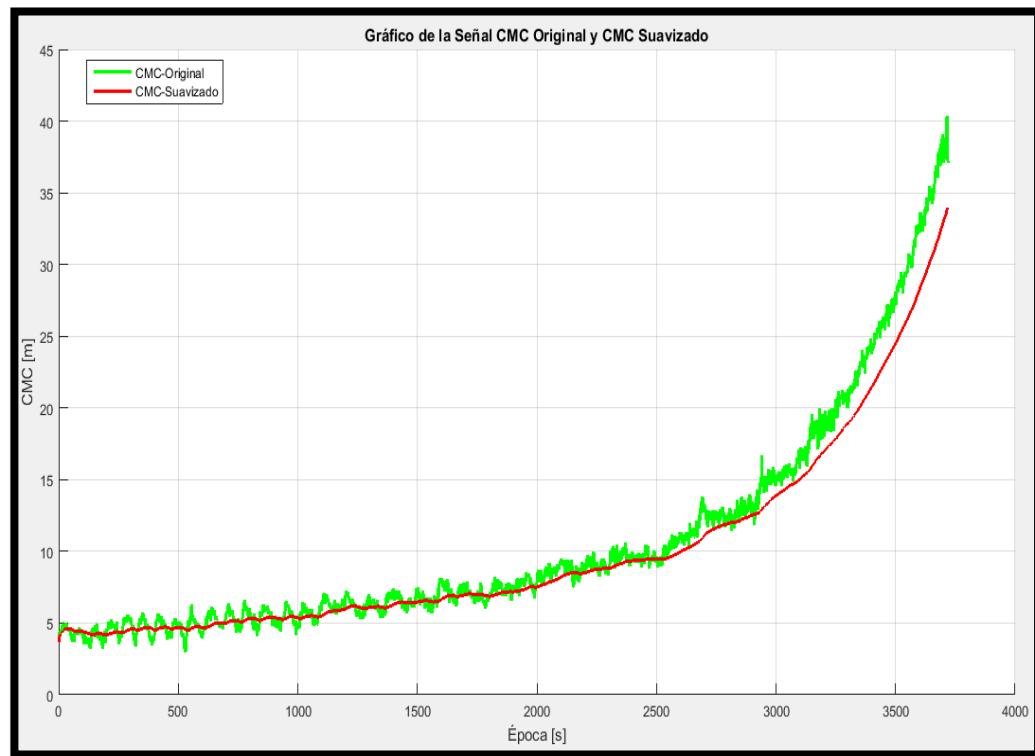
algoritmo se redujo a casi la mitad los errores generados en la señal CMC-original. **Tabla 2-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 2-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 8 en  $\tau=100$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
Valor Máximo	2.4 m (240 cm)	0.69m (69cm)
Valor Mínimo	-5.56 m (-556 cm)	-3.41 m (-341 cm)

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

### Satélite # 9 en vista



**FIGURA 3.3.** Grafica del satélite # 9 con señal original y corregida  $\tau=100$

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

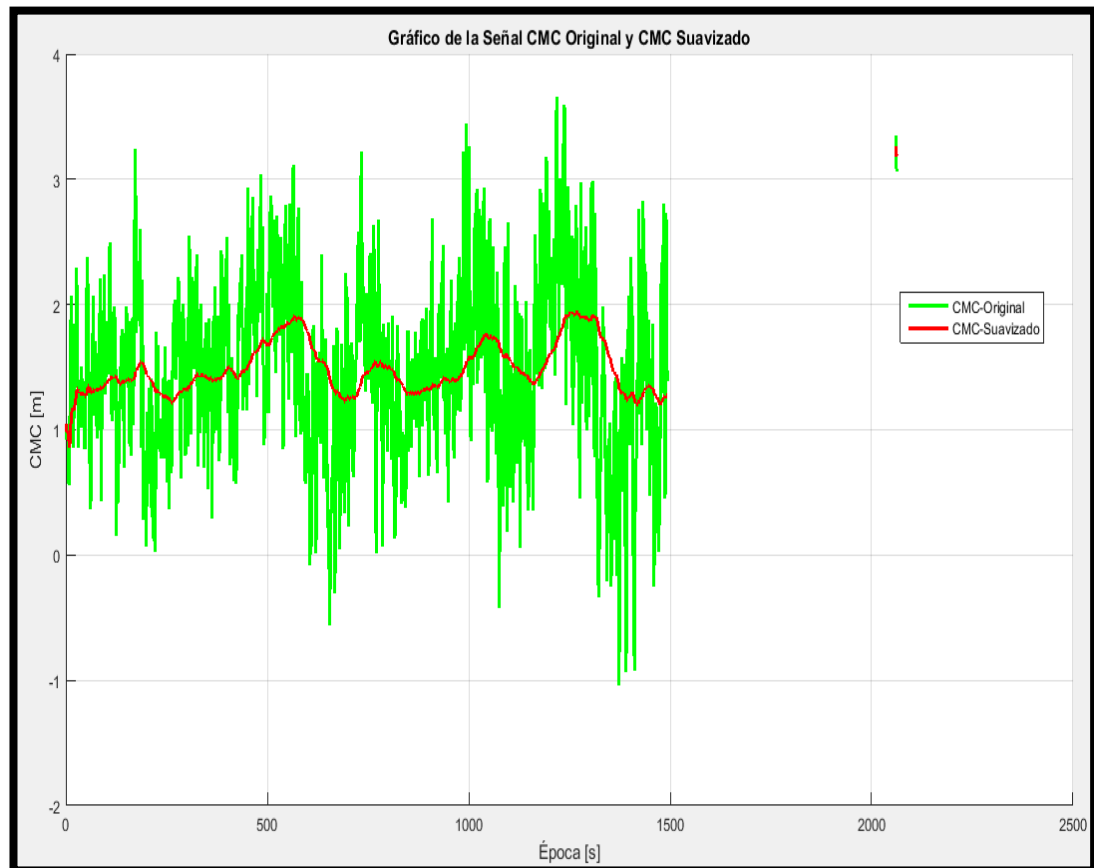
Las épocas analizadas fueron (4000 s) como se ve en la **Figura 3-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 632 centímetros representando con el 15, 67% valor con respecto al valor total, en la corrección hecha por el algoritmo se redujo una tercera parte los errores gen **Tabla 3-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 3-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 9 en  $\tau=100$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
Error Máximo	40.32 m (4032 cm)	34 m (3400cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

#### Satélite # 15 en vista



**FIGURA 4.3.** Grafica del satélite # 15 con señal original y corregida  $\tau=100$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron (2500 s) como se ve en la **Figura 4-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 175 centímetros representando con el 47.94% del valor máximo y el valor mínimo es 18, 5 centímetros representado con el 17,61% con respecto al valor total, en este punto se redujo una tercera parte de los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 4-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.



**Tabla 4-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 15 en  $\tau=100$

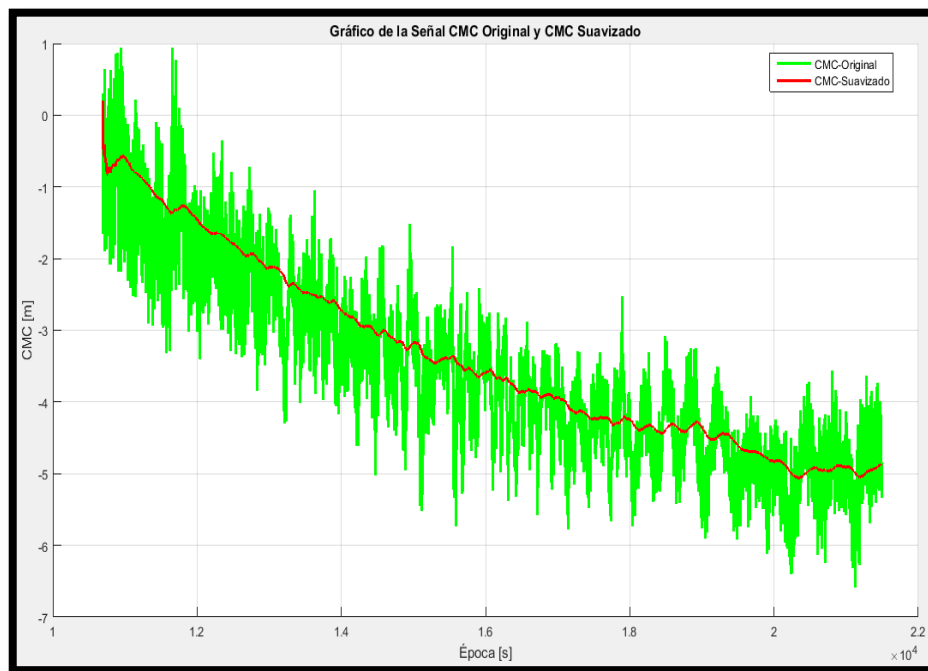
Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
Error Máximo	3.65 m (365 cm)	1.9 m (190cm)
Error Mínimo	-1,05 m (-105 cm)	0,865 m (86,5 cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

### 3.1.2 Tiempo Optimo ( $\tau=500$ )

Para generar la gráfica de la señal CMC filtrada y original se aplica un tiempo máximo de 500 segundos que permite mantener la estabilidad del filtro y la atenuación de los errores ionosférico, ruido térmico entre otros que están presentes en la misma. Estas graficas generadas son de todos los satélites que se encuentran en vista en el momento de la petición.

#### Satélite # 5 en vista



**FIGURA 5.3.** Grafica del satélite # 5 con señal original y corregida  $\tau=500$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron ( $2.2 \times 10^4$  s) como se ve en la **Figura 5-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 73.8 centímetros representando con el 78.67% del valor máximo y el valor mínimo es – 153 centímetros representado con el 23,25% con respecto al valor total, en este punto se redujo a

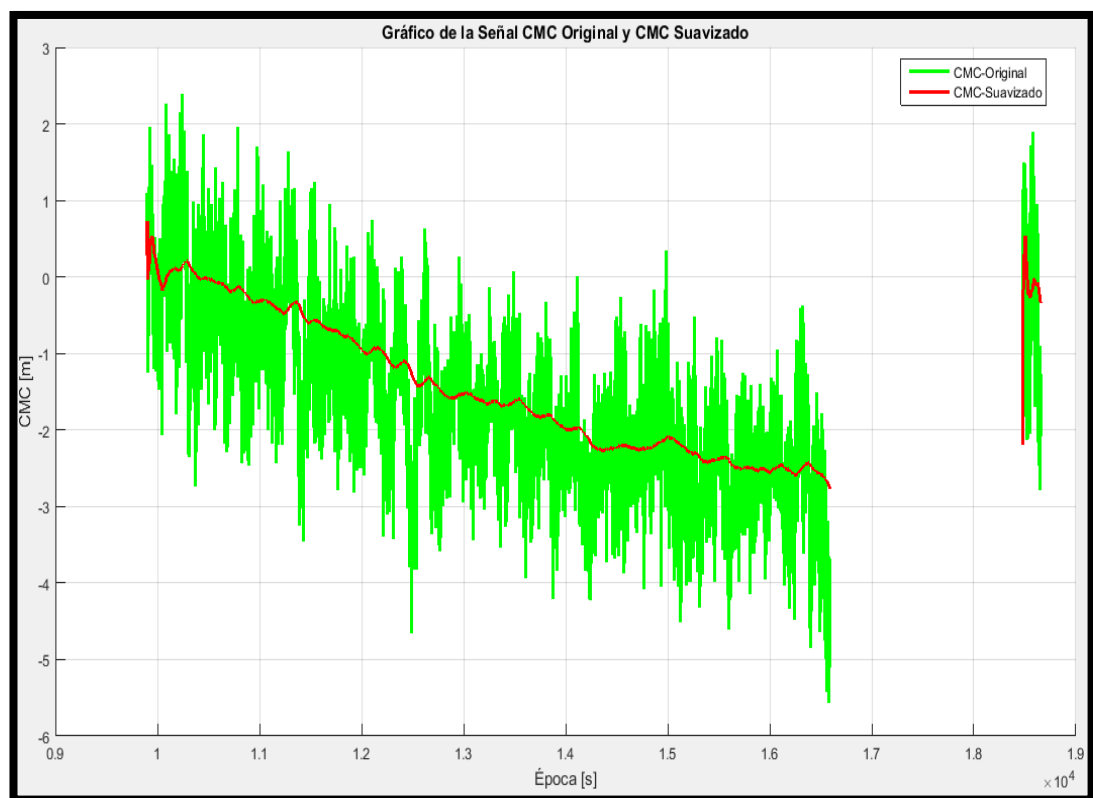
casi la mitad de los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 5-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 5-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 5 en  $\tau=500$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
<b>Error Máximo</b>	0.938 m (93.8 cm)	0.2m (20cm)
<b>Error Mínimo</b>	-6,58 m (-658 cm)	-5,05 m (-505 cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

### Satélite # 8 en vista



**FIGURA 6.3.** Grafica del satélite # 8 con señal original y corregida  $\tau=500$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron ( $1.9 \times 10^4$  s) como se ve en la **Figura 6-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 171.2 centímetros representando con el 71.33% del valor máximo y el valor mínimo es -278 centímetros representado con el 50% con respecto al valor total, en este punto se redujo a más

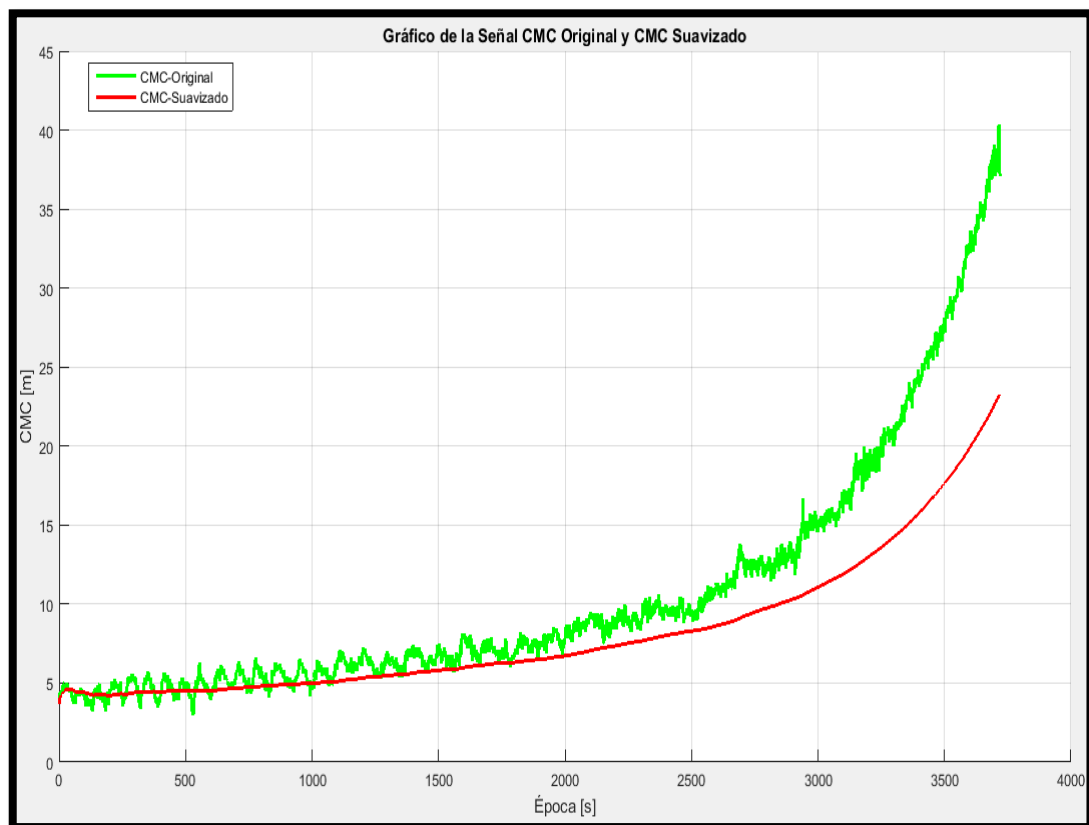
de la mitad los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 6-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 6-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 8 en  $\tau=500$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
<b>Error Máximo</b>	2.4 m (240 cm)	0.688 m (68.8cm)
<b>Error Mínimo</b>	-5.56 m (-556 m)	-2.78 m (-278 cm )

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

### Satélite # 9 en vista



**FIGURA 7.3.** Grafica satélite # 9 con señal original y corregida  $\tau=500$

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron (4000 s) como se ve en la **Figura 7-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 1692 centímetros representando con el 41,96 % con respecto al valor total, en este punto se

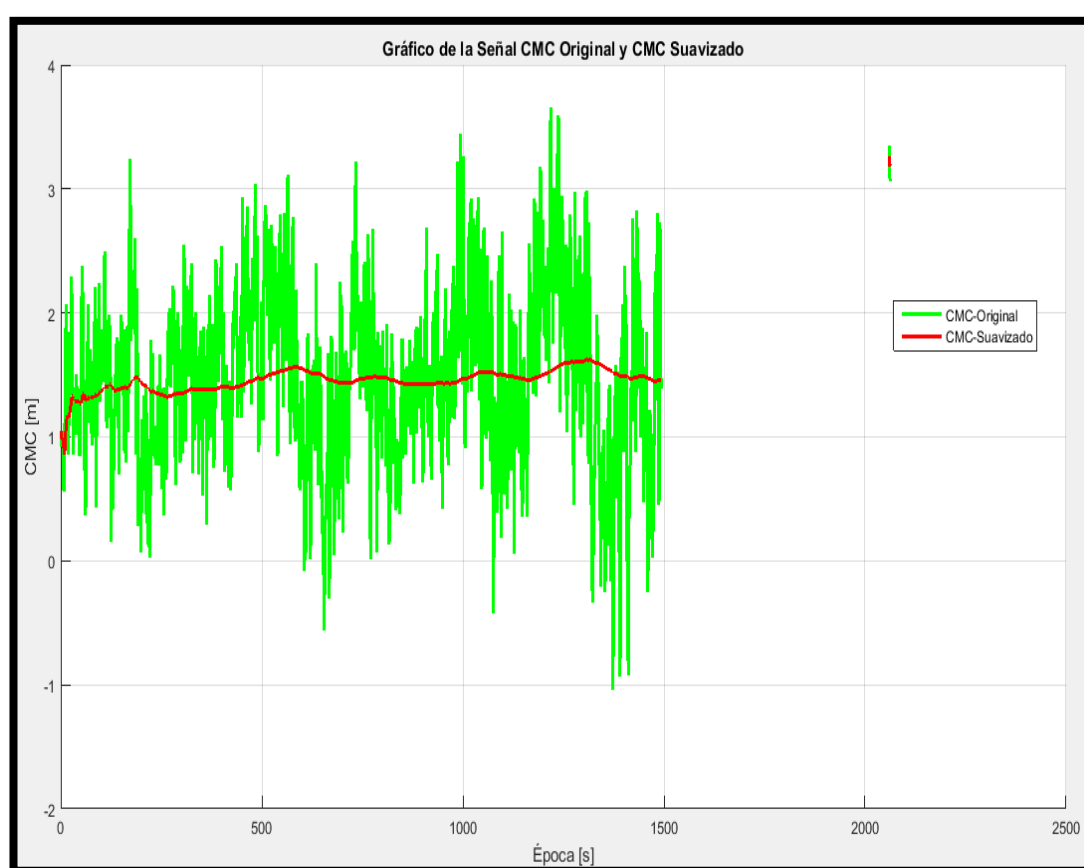
redujo a casi de la mitad los errores generados en la señal CMC-original. La **tabla 7-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 7-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 9 en  $\tau=500$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
<b>Error Máximo</b>	40.32 m (4032 cm)	23.4m (2340cm)

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

### Satélite # 15 en vista



**FIGURA 8.3.** Grafica del satélite # 15 con señal original y corregida  $\tau=500$

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron (2500 s) como se ve en la **Figura 8-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 278.53 centímetros representando con el 76.30 % del valor máximo y el valor mínimo es 20,2 centímetros representado con el 19,80% con respecto al valor total, en este punto se redujo a más de la mitad los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 8-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 8-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 15 en  $\tau=500$

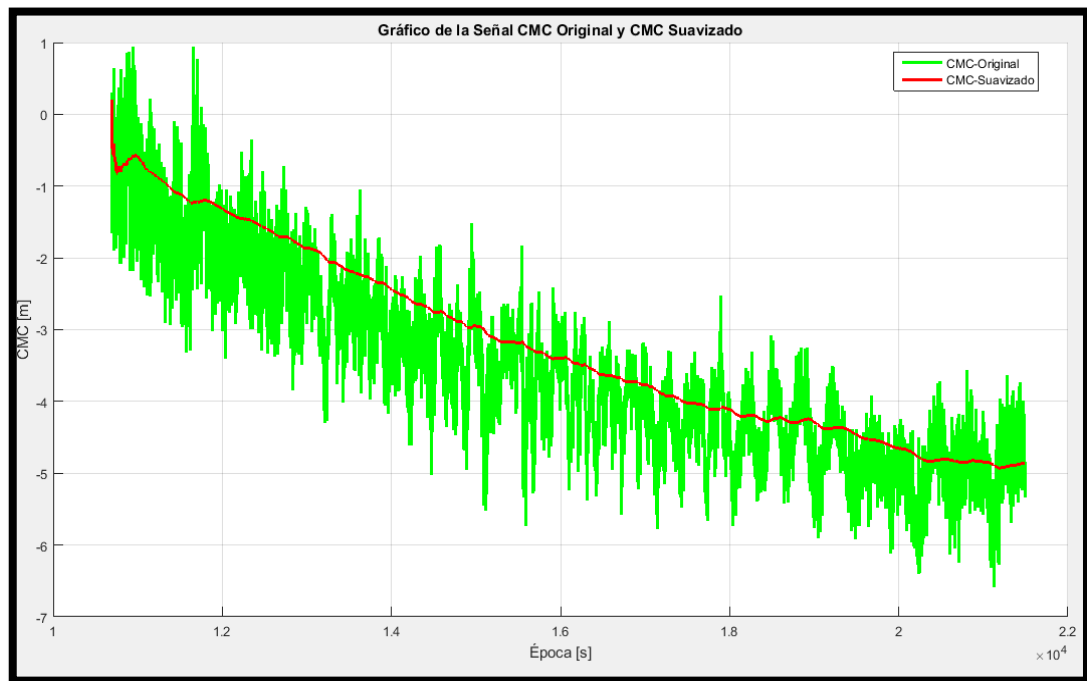
Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
<b>Error Máximo</b>	3.65 m (365 cm)	0.8647 m (86.47cm)
<b>Error Mínimo</b>	-1,05 m (-105 cm)	0,842 m (84 ,2 cm )

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

### 3.1.3 Tiempo Optimo ( $\tau=1000$ )

Para generar la gráfica de la señal CMC filtrada y original se aplica un tiempo máximo de 1000 segundos que permite mantener la estabilidad del filtro y la atenuación de los errores ionosférico, ruido térmico, entre otros que están presentes en la misma. Estas graficas generadas son de todos los satélites que se encuentran en vista en el momento de la petición.

#### Satélite # 5 en vista



**FIGURA 9.3.** Grafica del satélite # 5 con señal original y corregida  $\tau=1000$   
**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron  $(2.2 \times 10^4 \text{ s})$  como se ve en la **Figura 9-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 74 centímetros representando con el 78.89% del valor máximo y el valor mínimo es -191

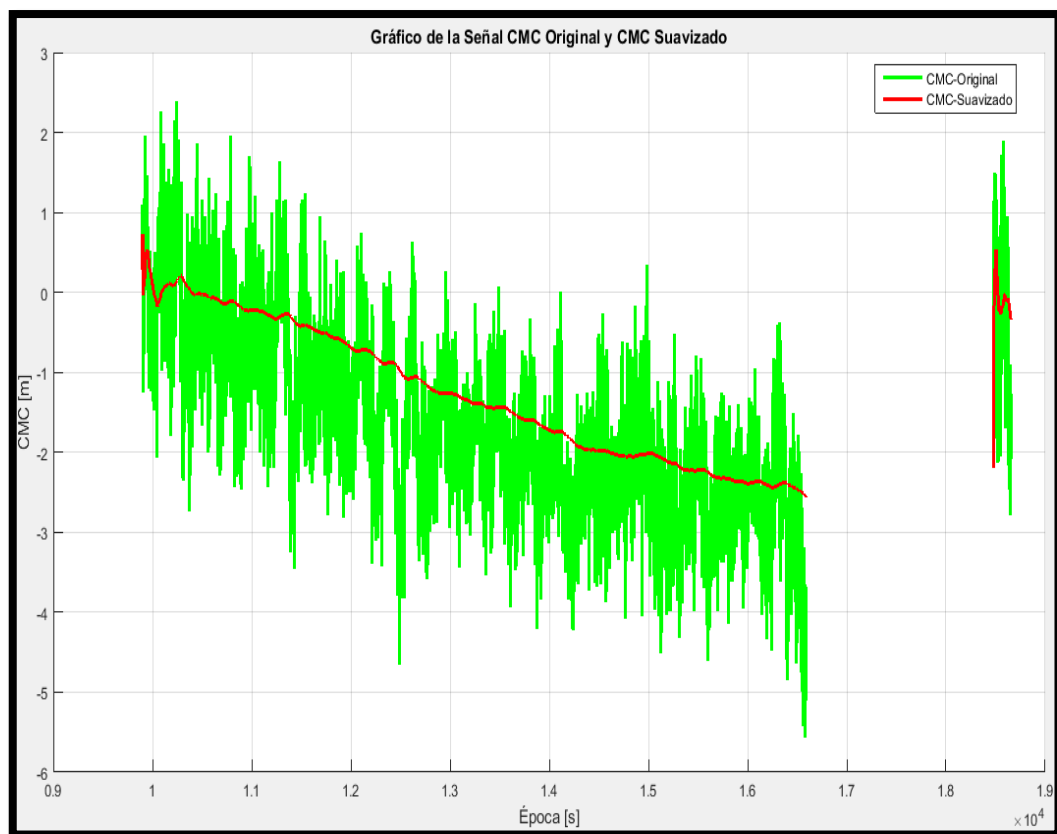
centímetros representado con el 29,02% con respecto al valor total, en este punto se redujo a casi la mitad de los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 9-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 9-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 5 en  $\tau=1000$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
<b>Error Máximo</b>	0.938 m (93.8 cm)	0.198m (19.8cm)
<b>Error Mínimo</b>	-6,58 m ( - 658 cm)	-4,67 m ( - 467 cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

#### Satélite # 8 en vista



**FIGURA 10.3.** Grafica del satélite # 8 con señal original y corregida  $\tau=1000$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron ( $1.9 \times 10^4$  s) como se ve en la **Figura 10-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico de 173 centímetros representando con el 72,08 % del valor máximo y el valor mínimo es - 305 centímetros representado con el 54,85 % con respecto al valor total, en este punto se redujo a

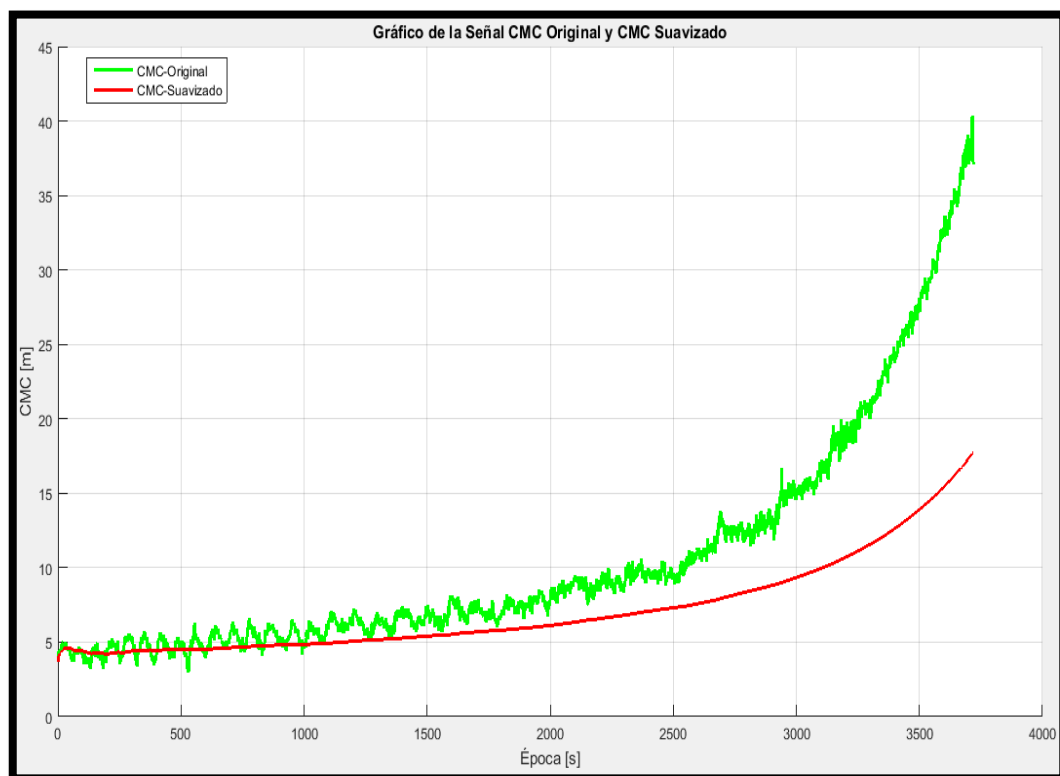
más de la mitad los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 10-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 10-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 8 en  $\tau=1000$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
<b>Error Máximo</b>	2.4 m (240 cm)	0.67 m (67cm)
<b>Error Mínimo</b>	-5,56 m (- 556 cm)	-2,51 m (-251 cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

### Satélite # 9 en vista



**FIGURA 11.3.** Grafica del satélite # 9 con señal original y corregida  $\tau=1000$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

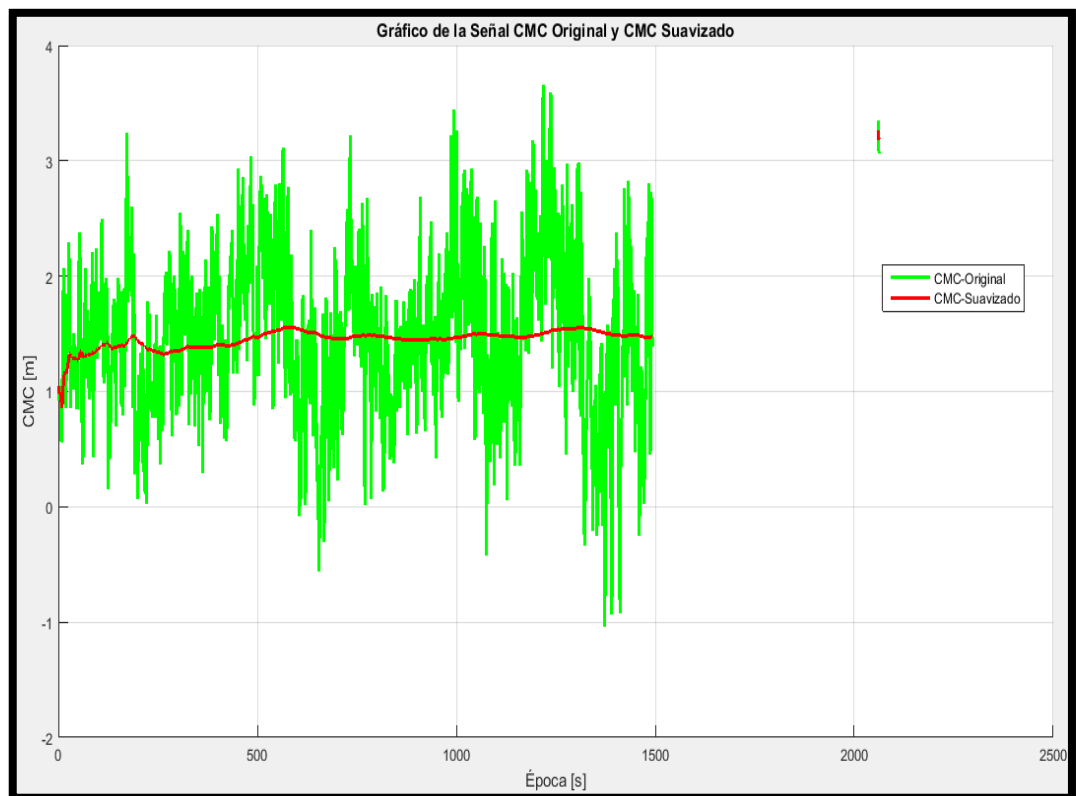
Las épocas analizadas fueron (4000 s) como se ve en la **Figura 11-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 2257 centímetros representando con el 55,97 % con respecto al valor total, en este punto se redujo a casi la mitad los errores generados en la señal CMC-original. **Tabla 11-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 11-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 9 en  $\tau=1000$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
<b>Error Máximo</b>	40.32 m (4032 cm)	17. 75 m (1775cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

#### Satélite # 15 en vista



**FIGURA 12.3.** Grafica del satélite # 15 con señal original y corregida  $\tau=1000$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron (2500 s) como se ve en la **Figura 12-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 279.1 centímetros representando con el 76.46 % del valor máximo y el valor mínimo es 22, 3 centímetros representado con el 21, 23 % con respecto al valor total, en este punto se redujo a más de la mitad los errores generados en la señal CMC-original. **Tabla 12-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.



**Tabla 12-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 15 en  $\tau=1000$

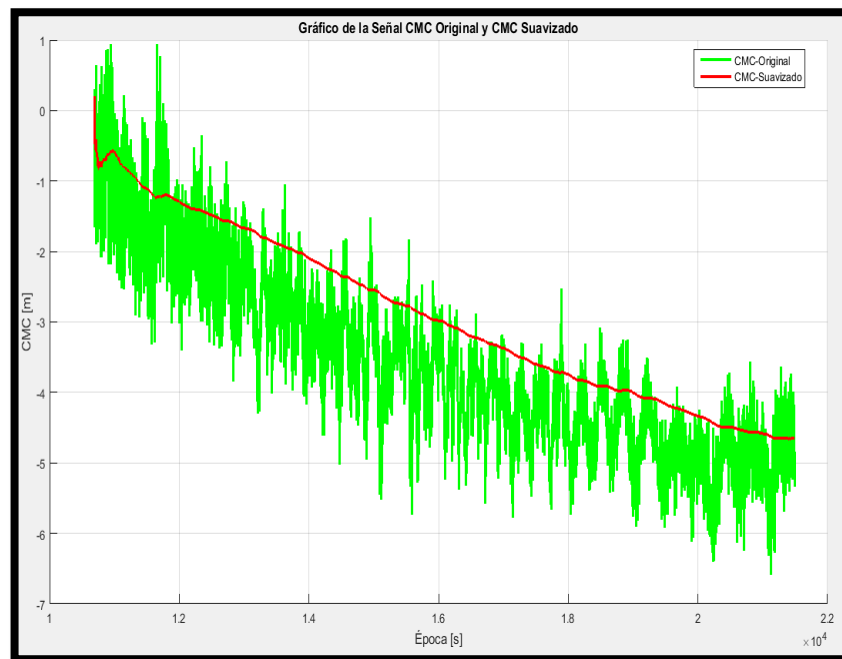
Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
<b>Error Máximo</b>	3.65 m (365 cm)	0.859 m (85.9cm)
<b>Error Mínimo</b>	-1,05 m (105 cm)	0,827 m (827 cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

### 3.1.4 Tiempo Optimo ( $\tau=2000$ )

Para generar la gráfica de la señal CMC filtrada y original se aplica un tiempo máximo de 2000 segundos que permite mantener la estabilidad del filtro y la atenuación de los errores ionosférico, ruido térmico, entre otros que esta presentes en la misma. Estas graficas generadas son de todos los satélites que se encuentran en vista en el momento de la petición.

#### Satélite # 5 en vista



**FIGURA 13.3.** Grafica del satélite # 5 con señal original y corregida  $\tau=2000$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron ( $2.2 \times 10^4$  s) como se ve en la **Figura 13-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 74.5 centímetros representando con el 79.42% del valor máximo y el valor mínimo es -226 centímetros representado con el 34,34 % con respecto al valor total, en este punto se redujo a

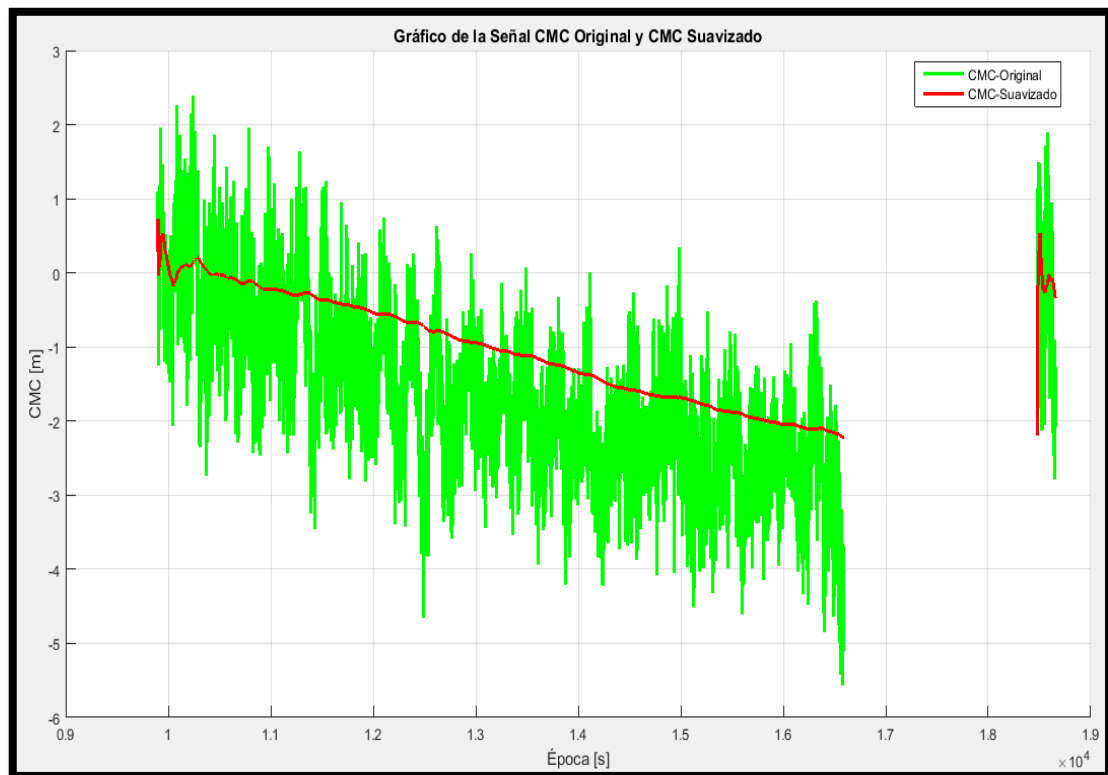
casi la mitad de los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 13-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 13-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 5 en  $\tau=2000$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
Error Máximo	0.938 m (93.8 cm)	0.193m (19.3cm)
Error Mínimo	-6,58 m (-658 cm)	- 4,32 m (-432 cm )

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

### Satélite # 8 en vista



**FIGURA 14.3.** Grafica del satélite # 8 con señal original y corregida  $\tau=2000$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron  $(1.9 \times 10^4 s)$  como se ve en la **Figura 14-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico de 173,2 centímetros representando con el 72,16 % del valor máximo y el valor mínimo es -323 centímetros representado con el 58,09 % con respecto al valor total, en este punto se

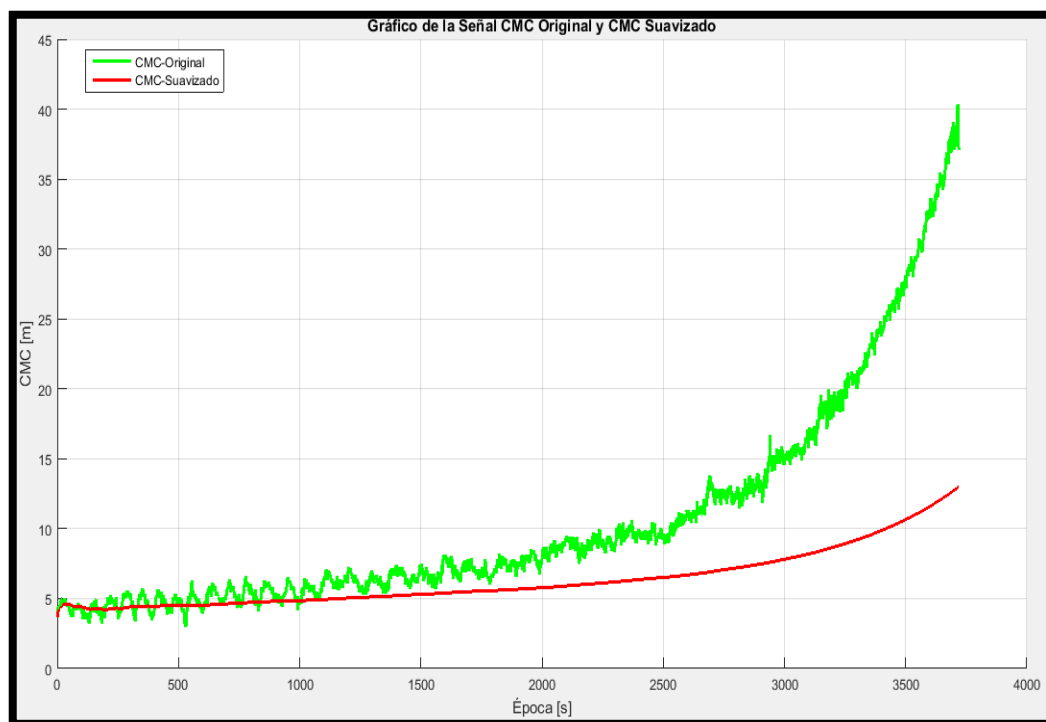
redujo a más de la mitad los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 14-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 14-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 5 en  $\tau=2000$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
Error Máximo	2.4 m (240 cm)	0.668 m (66.8cm)
Error Mínimo	-5,56 m (-556 cm)	-2,33m (-233 cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

### Satélite # 9 en vista



**FIGURA 15.3.** Grafica del satélite # 9 con señal original y corregida  $\tau=2000$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

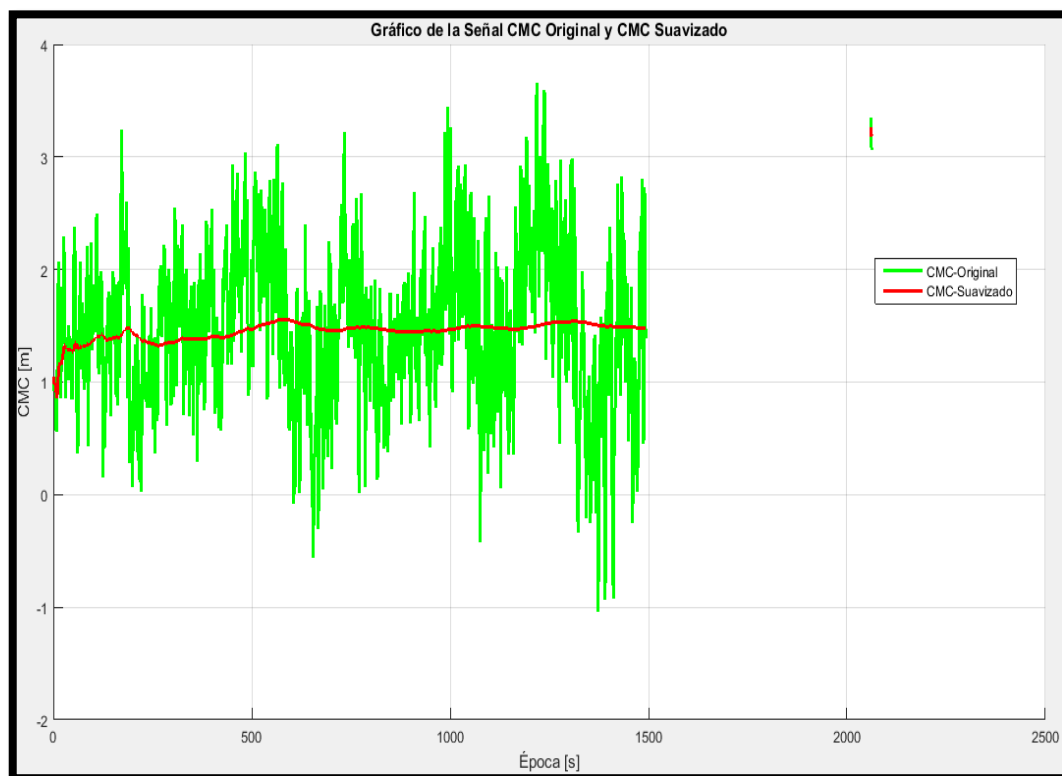
Las épocas analizadas fueron (4000 s) como se ve en la **Figura 15-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 2732 centímetros representando con el 67,76 % con respecto al valor total, en este punto se redujo a casi la mitad los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 15-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 15-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 9 en  $\tau=2000$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
Error Máximo	40.32 m (4032 cm)	13 m (1300cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

#### Satélite # 15 en vista



**FIGURA 16.3.** Grafica del satélite # 15 con señal original y corregida  $\tau=2000$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron (2500 s) como se ve en la **Figura 16-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 280.2 centímetros representando con el 76.76 % del valor máximo y el valor mínimo es 25, 5 centímetros representado con el 24,28 % con respecto al valor total, en este punto se redujo a más de la mitad los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 16-3** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 16-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 15 en  $\tau=2000$

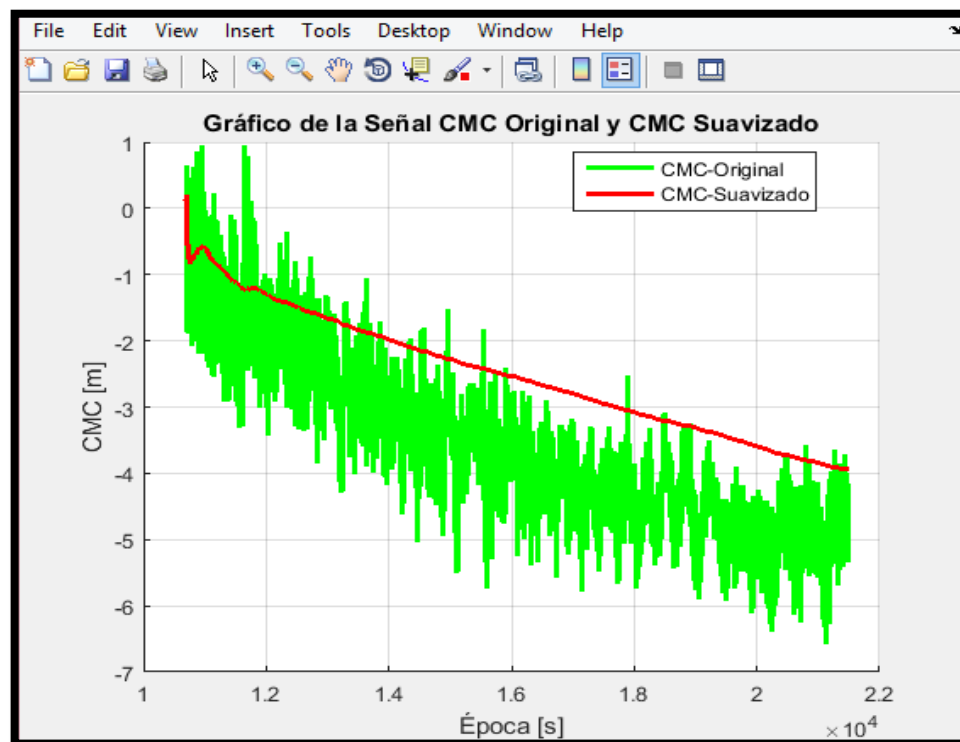
Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
<b>Error Máximo</b>	3.65 m (365 cm)	0.848 m (84.8cm)
<b>Errores Mínimos</b>	-1,05 m (-105 cm)	0,795 m (79,5 cm)

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

### 3.1.5 Tiempo Optimo ( $\tau=5000$ )

Para generar la gráfica de la señal CMC filtrada y original se aplica un tiempo máximo de 5000 segundos que permite mantener la estabilidad del filtro y la atenuación de los errores ionosférico, ruido térmico, entre otros que están presentes en la misma. Estas graficas generadas son de todos los satélites que se encuentran en vista en el momento de la petición.

#### Satélite # 5 en vista



**FIGURA 17.3.** Grafica del satélite # 5 con señal original y corregida  $\tau=5000$

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron  $(2.2 \times 10^4 \text{ s})$  como se ve en la **Figura 17-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es

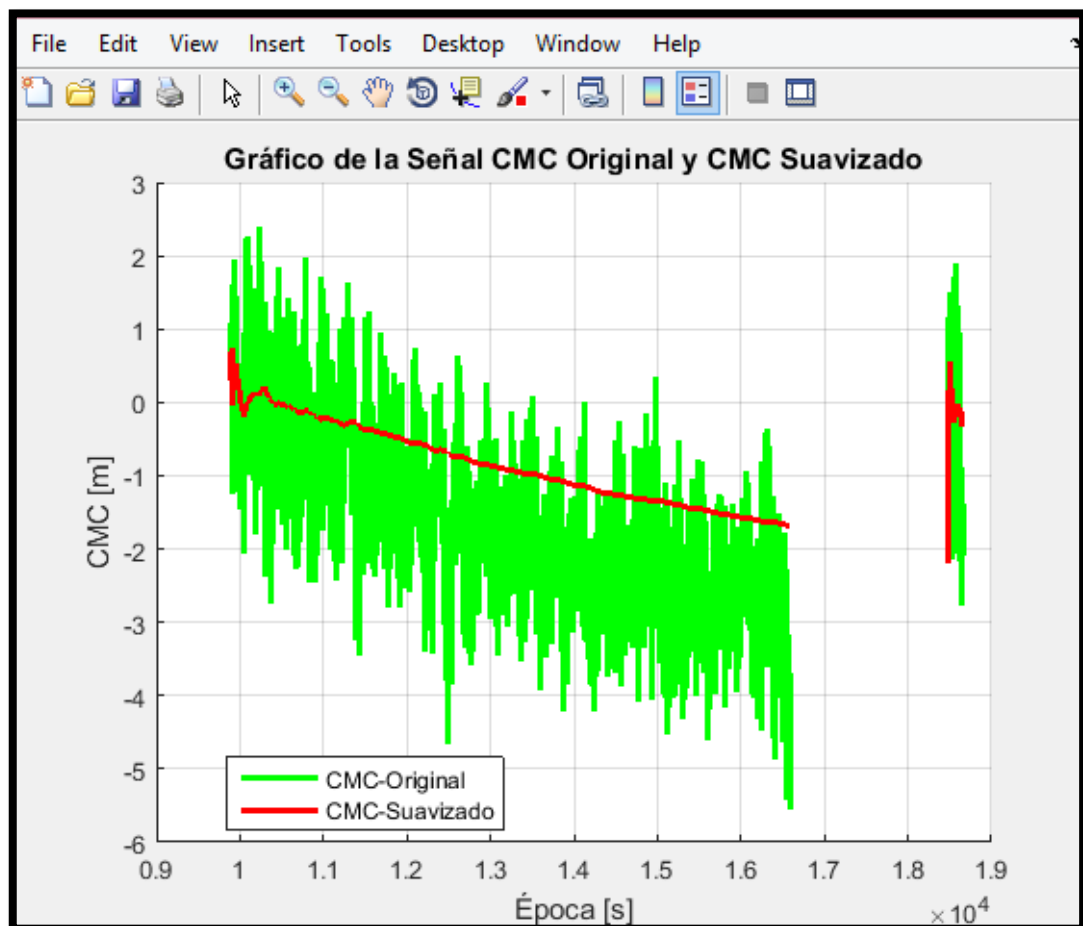
de 75 centímetros representando con el 79.96% del valor máximo y el valor mínimo es - 253 centímetros representado con el 38, 44% con respecto al valor total, en este punto se redujo a casi la mitad de los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 17-3:** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 17-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 5 en  $\tau=5000$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
<b>Error Máximo</b>	0.938 m (93.8 cm)	0.188m (18.8cm)
<b>Error Mínimo</b>	-6,58 m (-658 cm)	- 4,05 m (-405 cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

#### Satélite # 8 en vista



**FIGURA 18.3.** Grafica del satélite # 8 con señal original y corregida  $\tau=5000$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron ( $1.9 \times 10^4$  s) como se ve en la **Figura 18-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico, ruido térmico es de 173,4 centímetros representando con el 72,25 % del valor máximo y el valor mínimo

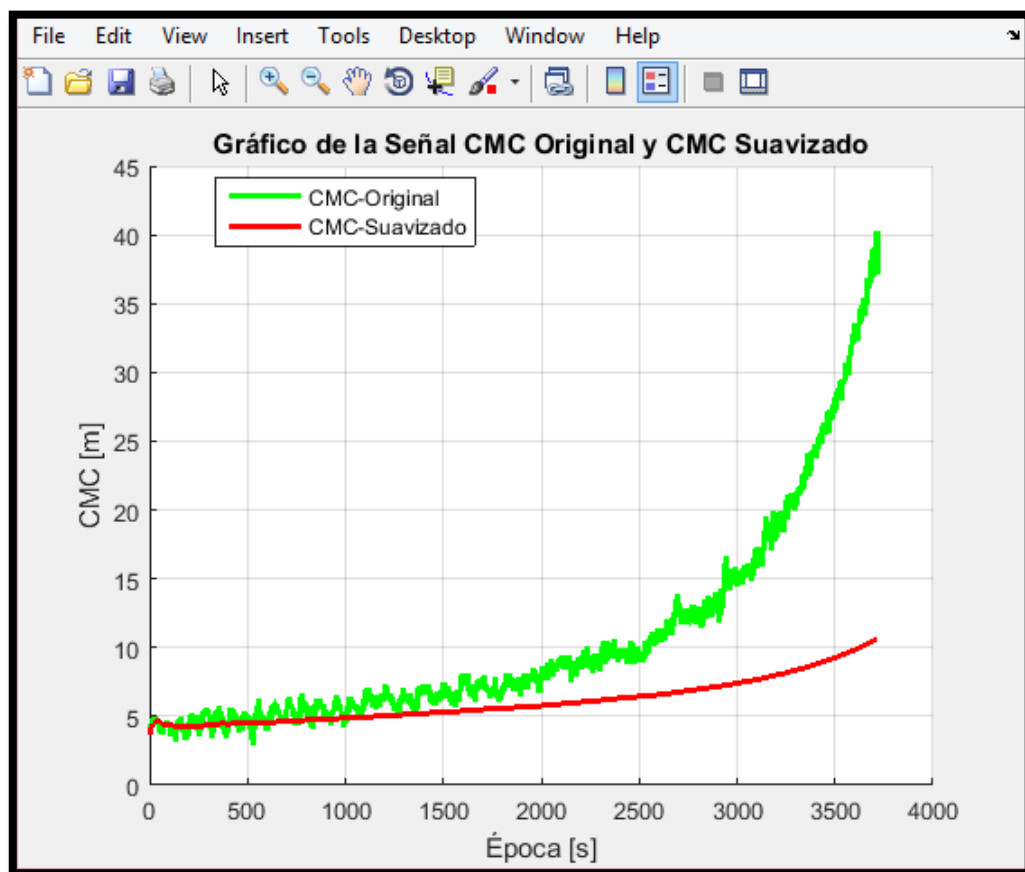
es -355 centímetros representado con el 63,84 % con respecto al valor total, en este punto se redujo a más de la mitad los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 18-3** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 18-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 8 en  $\tau=5000$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
<b>Error Máximo</b>	2.4 m (240 cm)	0.666 m (66.6cm)
<b>Error Mínimo</b>	-5,56 m (-556 cm)	-2,01 m (-201 cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

#### Satélite # 9 en vista



**FIGURA 19.3.** Grafica del satélite # 9 con señal original y corregida  $\tau=5000$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron (4000 s) como se ve en la **Figura 19-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 2952 centímetros representando con el 73,21 % con respecto al valor total, en este punto se redujo

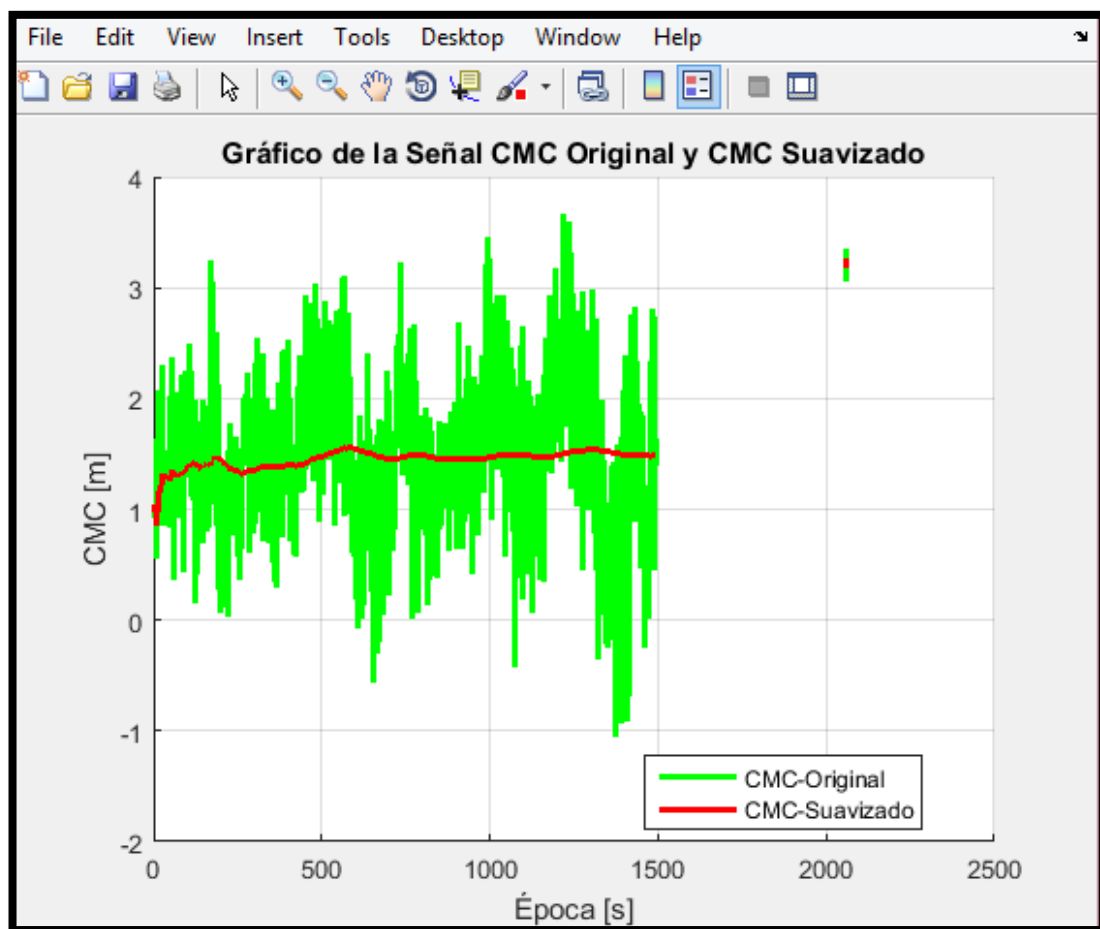
a más de la mitad los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 19-3** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 19-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 9 en  $\tau=5000$

Errores	CMC-Original	CMC-Suavizada
Error Máximo	40.32 m (4032 cm)	10.8 m (1080cm)

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

#### Satélite # 15 en vista



**FIGURA 20.3.** Grafica del satélite # 15 con señal original y corregida  $\tau=5000$

Realizado por: (Maricela Calle, 2017)

Las épocas analizadas fueron (2500 s) como se ve en la **Figura 20-3**, aplicando el algoritmo de Filtro de Hatch se logró una reducción en el error ionosférico y ruido térmico es de 280.8 centímetros representando con el 76.93 % del valor máximo y el valor mínimo es 27,5 centímetros representado con el 26, 19 % con respecto al valor total, en este punto se redujo a



más de la mitad los errores generados en la señal CMC-original. La **Tabla 20-3** muestra los resultados de los errores con sus valores máximos y mínimos.

**Tabla 20-3:** Errores CMC-Original y CMC-Filtrada del satélite # 15 en  $\tau=5000$

<b>Errores</b>	<b>CMC-Original</b>	<b>CMC-Suavizada</b>
<b>Error Máximo</b>	3.65 m (365 cm)	0.842 m (84.2cm)
<b>Error Mínimo</b>	-1,05 m (-105 cm)	0,775 m (77,5 cm)

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

**Tabla 21-3:** Tabla de Resultados

Frecuencia Simple									
Tiempo (τ)	# de Satélite	CMC-Original (+)	CMC-Original (-)	CMC-Filtrada(+)	CMC-Filtrada(-)	Δσ (+)	Δσ (-)	% de Corrección (+)	% de Corrección (-)
100	5	95 cm	-658 cm	25 cm	-545 cm	70 cm	-113 cm	73,68%	17,17%
	8	240 cm	-556 cm	69 cm	-341 cm	171 cm	-215 cm	71,25%	38,66%
	9	4032 cm		3400 cm		632 cm		15,67%	
	15	365 cm	-105 cm	190 cm	86, 5 cm	175 cm	18, 5 cm	47,90%	17,61%
500	5	93.8 cm	-658 cm	20 cm	-505 cm	73,8 cm	-153 cm	78,67%	23,25%
	8	240 cm	-556 cm	68,8 cm	-278 cm	171,2 cm	-278 cm	71,33%	50%
	9	4032 cm		2340 cm		1692 cm		41,96%	
	15	365 cm	-105 cm	86,47 cm	84,2 cm	278,53 cm	20,2 cm	76,30%	19,80%
1000	5	93.8 cm	-658 cm	19,8 cm	-467 cm	74 cm	-191 cm	78,89%	29,02%
	8	240 cm	-556 cm	67 cm	-251 cm	173 cm	-305 cm	72,08%	54,85%
	9	4032 cm		1775 cm		2257 cm		55,97%	
	15	365 cm	-105 cm	85,9 cm	82,7 cm	279, 1 cm	22,3 cm	76,46%	21,23%
2000	5	93.8 cm	-658 cm	19 ,3 cm	-432 cm	74,5 cm	-226 cm	79,42%	34,34%
	8	240 cm	-556 cm	66,8 cm	-233 cm	173,2 cm	-323 cm	72,16%	58,09%
	9	4032 cm		1300 cm		2732 cm		67,76%	
	15	365 cm	-105 cm	84,8 cm	78,5 cm	280,2 cm	25,5 cm	76,76%	24,28%
5000	5	93.8 cm	-658 cm	18,8 cm	-405 cm	75 cm	-253 cm	79,96%	38,44%
	8	240 cm	-556 cm	66,6 cm	-201 cm	173,4 cm	-353 cm	72,25%	63,84%
	9	4032 cm		1080 cm		2952 cm		73,21%	
	15	365 cm	-105 cm	84,2 cm	77,5 cm	280,8 cm	27,5 cm	76,93%	26,19%

**Realizado por:** (Maricela Calle, 2017)

## CONCLUSIONES

- La implementación del Filtro de Hatch en configuración de frecuencia simple permite mejorar la precisión de la posición en el receptor GPS al eliminar los componentes comunes que existen entre las medidas de code-phase y carrier-phase siendo el principal de ellos el ionosférico considerado la componente de mayor error.
- El multipath es un error imposible modelar o estimar debido a su naturaleza randómica, al ser el filtro de hatch un proceso de diferenciación iterativo a la vez que permite la eliminación de errores correlacionados también existe la acumulación de errores no correlaciones como el multipath, haciéndose más crítico de acuerdo al tiempo asignado a la constante de atenuación ( $\tau$ ).
- Los valores asignados a la constante de atenuación ( $\tau$ ) se establece en un rango de 100 a 5000 segundos observando, durante las épocas de observación, la disminución del error y dando estabilidad a la señal ya que se verifica la supresión de picos que representan los valores afectados principalmente por el efecto ionosférico.
- En algunos casos se observa que mientras la constante de tiempo ( $\tau$ ) incrementa, el valor del error de multipath también lo hace siendo poco viable considerar establecer valores altos pues esto también requiere costo de procesamiento computacional.
- Como resultado del análisis de la aplicación del filtro en las medidas del satélite 5 se observa que los datos brutos indican un valor nominal de error de (-658, 95) cm respectivamente al aplicar el filtro de hatch con una constante de atenuación a ( $\tau=100$ ) se reduce el error a (-545, 25) cm alcanzado una reducción del error en un 73,68% respecto a la señal original.
- La atenuación de errores de ruido local y de multipath en el pseudorange pueden ser objeto de limitaciones operativas sobre la convergencia del filtro de suavizado, permitiendo al mismo tiempo que la estación receptoras pueda suavizar estos errores en períodos prolongados.

## RECOMENDACIONES

- Para investigaciones futuras del algoritmo de Filtro de Hatch se recomienda ampliar su implementación de técnicas a doble frecuencia.
- Para mejorar la calidad de recepción de la señal GPS se recomienda que la toma de datos se realice en días despejados y en zonas de poca densidad de edificios.
- Se pueden aplicar dos técnicas que trabaja con señales L1 y L2 que permitirá atenuar los errores ionosféricos y de multipath como son Libre de Divergencia y Libre de iono que a su vez mejorara las medidas de pseudorange.

## BILIOGRAFÍA

1. **AHN, Jongsun; HEE, Won Dae; & KYUNG, Sung Sang.** *Orbit Ephemeris Failure Detection in a GNSS Regional Application* [en línea]. Corea: Article in International Journal of Aeronautical and Space Science. [Consulta: 2017- 01-10]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/274382340\\_Orbit\\_Ephemeris\\_Failure\\_Detection\\_in\\_a\\_GNSS\\_Regional\\_Application](https://www.researchgate.net/publication/274382340_Orbit_Ephemeris_Failure_Detection_in_a_GNSS_Regional_Application)
2. **AYALA RAMÍREZ, Alfredo; & HASBUN BARDALES Milton Miguel.** *Aplicaciones Y Uso De La Tecnología De GPS Diferencial De Doble Frecuencia Con Precisión Centimétrica En El Área De Levantamiento Y Replanteo Topográfico Georeferenciado.* [en línea] (tesis). (Pregrado) Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Civil, San Salvador, El Salvador. 2012. pp. 28-62. [Consulta: 2016-11-25]. Disponible en : [http://ri.ues.edu.sv/1762/1/TESIS\\_DE\\_GPS\\_DIFERENCIAL\\_EN\\_PDF.pdf](http://ri.ues.edu.sv/1762/1/TESIS_DE_GPS_DIFERENCIAL_EN_PDF.pdf)
3. **AYANCAN LEIVA, Boris; & NARVÁEZ CÁRDENAS Sebastián.** *Sistema GPS Y Bitácora Electrónica De Móviles* [en línea]. (Tesis). (Pregrado) Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Electricidad y Electrónica. Valdivia, Chile. 2008. pp. 30-44. [Consulta: 2016-09-12]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcia973s/doc/bmfcia973s.pdf>
4. **BARRIOS GANZÁLES, Samuel; BELTRÁN, Jorge Damián; & MICHACA PÉREZ Rogelio.** *Sistema De Información Para El Monitoreo Local Del Desempeño GNSS* [en línea] (tesis). (Pregrado) Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México. 2013. pp. 12-17 [Consulta: 2016-08-15] Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12365/SISTEMADEINFO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. **BERROCOSO, Manuel; RAMÍREZ, María Eva; PÉREZ PEÑA, Alejandro; ENRÍQUEZ SALAMANCA, José Manuel; FERNÁNDEZ, Alberto; & TORRECILLAS Cristina.** *El Sistema De Posicionamiento Global* [en línea] (tesis). (Pregrado) Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias, Departamento de Matemáticas, Puerto Real, 2003, pp. 23-78 [Consulta: 2016-03-15]

6. **BONGIOVANNI, Rodolfo; CHARTUNI, Evandro; BEST, Stanley; & ROEL, Álvaro.** *Agricultura De Precisión: Integrando Conocimientos Para Una Agricultura Moderna Y Sustentable* [en línea]. Brasilia, Brasil. [Consulta: 2016-05-09]. Disponible en:  
<https://books.google.com.ec/books?id=1ef6-NN2XsAC&pg=PA5&dq=antecedentes+de+DGPS&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj5-zm6jNAhUBYZ4KHQ6hCX4Q6AEIJzAB#v=onepage&q=antecedentes%20de%20DGPS&f=false>
7. **BOSSLER, John.** *MANUAL OF GEOSPATIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY* [en línea]. New York, Estados Unidos: Taylor & Francis, 2002 [Consulta: 2016-06-08]. Disponible en:  
[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=XVJwDrkZA1wC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Manual+Geospatial+Science+and+Technology&ots=M5b2LOdZfG&sig=LdM2bCaQwgg620WtbmH\\_LprJCc0#v=onepage&q=Manual%20Geospatial%20Science%20and%20Technology&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=XVJwDrkZA1wC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Manual+Geospatial+Science+and+Technology&ots=M5b2LOdZfG&sig=LdM2bCaQwgg620WtbmH_LprJCc0#v=onepage&q=Manual%20Geospatial%20Science%20and%20Technology&f=false)
8. **DELGADO TRAPERO, Esperanza.** *EL GPS EN LA CONSTRUCCIÓN* [en línea]. Barcelona, España: edicionesceac. 2009. [Consulta: 2016-6-27]. Disponible en:  
<https://books.google.es/books?id=NbgvmLLZm1PQC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
9. **DOMÍNGUEZ, Cecilia; & RODRÍGUEZ, Jérica;** *Contribución De La Técnica Satellite Laser Ranging A Los Sistemas De Posicionamiento Glonass, Beidou Y Galileo* [en línea]. (tesis). (Pregrado), Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Ingeniería Departamento de Agrimensura, Ingeniero Agrimensor, San Juan, 2015. pp. 7-34. [Consulta: 2016-04-17]. Disponible en:  
<ftp://ftp.unsj.edu.ar/agrimensura/Trabajo%20Final/Tesis%20Dominguez-Rodriguez.pdf>
10. **FÁREZ BUENAÑO, Carlos Antonio;** *Implantación De Una Estación Permanente Gnss En El Campus De La Universidad Técnica Particular De Loja* [en línea]. (tesis). (Pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador. 2010. pp.16-24. [Consulta: 2016-06-22]. Disponible en:  
<http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2467/1/Tesis.pdf>
11. **FERNÁNDEZ PLAZOLA, Unai;** *Técnicas De Resolución De La Ambigüedad De Las Medidas De La Fase En Sistemas De Navegación Por Satélite* [en línea]. (tesis). (Doctoral). Universidad de Málaga, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de

Telecomunicaciones, Málaga, España. pp.28-31. [Consulta: 2016-06-22]. Disponible en: <https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/4632/UFP.pdf?sequence=1>

12. **GARCÍA ÁLVAREZ, David Abelardo;** *SISTEMA GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMA)* [en línea]. (tesis). (Pregrado) Universidad Autónoma de Madrid, Escuela Politécnica Superior Departamento de Ingeniería Informática, Madrid, España. 2008. pp. 7-79. [Consulta: 2016-08-24]. Disponible en: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080125DavidGarcia.pdf>
13. **GRONDONA, Ezequiel;** *Diseño Y Comparativa De Algoritmo De Navegación Fuerte Y Débilmente Integrados Con GPS* [en línea]. (tesis). (Pregrado) Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrónica, Buenos Aires, Argentina, 2013. pp. 17-40. [Consulta: 2016-03-24] Disponible en: <http://psic.fi.uba.ar/Publicaciones/Tesis/Grondona/Grondona.pdf>
14. **HENAO MELO, Luis Guillermo;** *Diseño De Un Equipo De Rastreo Satelital De Elementos Usando Tecnologías GPS Y GSM* [en línea]. (tesis). (Maestría) Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 2014. pp. 8-45 [Consulta: 2016-03-14] Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4895/629437H493.pdf?sequence=1>
15. **IHLENFELDT SEJAS, Mauricio;** *Suavizacao da Pseudodistancia pela Fase da Onda Portadora Análise da Técnica*, [en línea]. (tesis). (Maestría), Universidad Federal de Paraná, Ciencias de la Tierra, Curitiba, Paraná, Brasil, 2005. pp. 3-34[Consulta: 2016-03-19] Disponible en: <http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/5365/SEJAS,%20M.%20I.%20Disserata%C3%A7%C3%A3o%20177.pdf?sequence=1>
16. **J. SANZ SUBIRANA; J.M. JUAN ZORNOZA; & M. HERNÁNDEZ-PAJARES;** *GNSS DATA PROCESSING* [en línea]. Contactivity by, Leiden, the Netherlands. GNSS Data Processing, Vol. 1: Fundamentals and Algorithms. 2013. [Consulta: 2016-07-14] Disponible en: [http://www.navipedia.net/GNSS\\_Book/ESA\\_GNSS-Book\\_TM-23\\_Vol\\_I.pdf](http://www.navipedia.net/GNSS_Book/ESA_GNSS-Book_TM-23_Vol_I.pdf)
17. **M. HERNÁNDEZ-PAJARES; J.M ZORNOZA; & J.SANZ SUBIRANA;** *Procesado De Datos Gps: Código Y Fase, Algoritmos, Técnicas Y Recetas* [en línea]. Barcelona, España: gAGE-NAV S.L. 2001. [Consulta: 2016-08-11] Disponible en: <http://studylib.es/doc/5804088/procesado-de-datos-gps--c%C3%B3digo-y-fase-algoritmos>

18. **MARIN ANZURES, Refugio;** *Aplicación De Agroquímicos Con El Uso De Sistemas De Posicionamiento Global (GPS)* [en línea]. (tesis). (Pregrado) Universidad Autónoma Agraria "Antonio Navarro", Departamento de Maquinaria, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 2007. pp. 60-67. [Consulta: 2016-09-14] Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1917/T16434%20MARIN%20ANZURES%2c%20%20REFUGIO%20MONOG.pdf?sequence=1>
19. **MOHINO HARRIS, Elsa;** *Análisis Y Mitigación Del Error Ionosférico En Los Sistemas Globales De Navegación Po Satélite Con Receptores De Una Frecuencia* [en línea]. (tesis). (Doctoral) Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Físicas, Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica, Madrid, España, 2006. pp. 13-46. [Consulta: 2016-09-27] Disponible en: <http://eprints.ucm.es/7173/1/T28341.pdf>
20. **MONTENEGRO FIERRO, Klever Fabián; & VARGAS ESPINOSA, Darwin Rodrigo;** *Determinación De Puntos Geográficos Para El Cálculo De Áreas Exactas Utilizando Gps Diferencial (DGPS)* [en línea]. (tesis). (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Ingeniería Electrónica, Quito, Ecuador. 2015. pp. 4-35. [Consulta: 2016-10-13] Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11614/1/UPS%20-%20ST002126.pdf>
21. **NAVARRO CORCUERA, Juan José;** *Utilización De GPS Diferencial E Inercial Para Operaciones De Aproximación Final Y Aterrizaje.* (tesis). (Doctoral) Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáuticas, Madrid, España. 2004. pp. 5-76. [Consulta: 2016-05-07].
22. **ORTEGA ZHUILEMA, Ángel Gustavo; & LOPEZ TADAY, Franklin Benito;** *Análisis e Implementación del Diferencial de GPS con Configuración Simple y Doble, para Mejorar la Precisión de un Receptor GPS en la Ciudad de Riobamba.* (tesis). (Pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y Redes, Riobamba, Chimborazo, Ecuador, 2017. pp. 5-80. Consulta: [2017-03-19]
23. **ORTÍZ CASTELÁN, Mario;** *Detección Y Rastreo De Dispositivos De Inspección Y Mantenimiento (DIM) Por Medio Del Sistema De Posicionamiento Global (GPS) Para La Red De Ductos Pemex* [en línea]. (tesis). (Pregrado), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Pachuca, México, 2007. pp. 67-94. Consulta: [2016-03-19] Disponible en: [http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/1772/Detecci%20Y%20Rastreo%20De%20Dispositivos%20De%20Inspecci%20Y%20Mantenimiento%20\(DIM\)%20Por%20Medio%20Del%20Sistema%20De%20Posicionamiento%20Global%20\(GPS\)%20Para%20La%20Red%20De%20Ductos%20Pemex.pdf](http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/1772/Detecci%20Y%20Rastreo%20De%20Dispositivos%20De%20Inspecci%20Y%20Mantenimiento%20(DIM)%20Por%20Medio%20Del%20Sistema%20De%20Posicionamiento%20Global%20(GPS)%20Para%20La%20Red%20De%20Ductos%20Pemex.pdf)



F3n% 20y% 20rastreo% 20de% 20dispositivos% 20de% 20inspecci% F3n% 20y% 20manten  
imiento% 20(DIM)% 20por% 20medio% 20del% 20sistema% 20de% 20posicionamiento%  
20global% 20(GPS)% 20por% 20la% 20red% 20de% 20ductos% 20de% 20PEMEX.pdf;jses  
sionid=5C666885474D9B234987385EF7D38AAE?sequence=1

24. **PATRICK Y; & HWANG; & GARY A; & MCGRAW; & JOHN R. BADER;** *Enhanced Differential Gps Carrier-Smoothed Code Processing Using Dual-Frequency Measurements*. Volumen 6. Iowa, Estados Unidos: Journal of the Institute of Navigation. 1999. pp. 127-130. [Consulta: 2016-01-04]
  
25. **PILAPANTA AMAGUA, Christian Gonzalo;** *Estudio Metodológico De La Dinámica Espacial De La Estación De Monitoreo Continuo Riobamba (Riop) Y Su Influencia En La Determinación Del Modelo De Velocidades Del Ecuador*, [en línea]. (tesis). (Pregrado), Escuela Politécnica del Ejército, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Sangolquí, Quito, Ecuador, 2013. pp. 15-14. [Consulta: 2016-04-04]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6470>
  
26. **PUGLIA COSTAS, Gustavo Alfredo; & MONAGAS MENDOZA, José Rafael;** *Desarrollo De Un Sistema De GPS Diferencial Para Aumentar La Precisión De Los Sistemas De Ubicación Basados En La Tecnología GPS Sobre Dispositivo Móviles* [en línea]. (tesis). (Grado), Universidad Católica Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones Caracas, Venezuela, 2012. pp. 8-28. [Consulta: 2016-07-04]. Disponible en: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS3511.pdf>
  
27. **RIVERA MEDINA, José María;** *Implementación Del Differential Global Positioning System Con Correcciones Simples Y Dobles En Pseudodistancias* [en línea]. (tesis). (Pregrado), Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Departamento Ingeniería Electrónica, Ingeniería Aeronáutica, Sevilla, 2014. pp. 10-67. [Consulta: 2016-08-04]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/60237/fichero/Proyecto+fin+de+carrera+-+Jos%C3%A9+Mar%C3%ADa+Rivera+Medina+%2817-09-14%29.pdf>
  
28. **SALAZAR MARROQUÍN, Sergio Erinaldo;** *Guía Práctica para el uso de Receptor GPS de Monofrecuencia LI*, [en línea]. (tesis). (Pregrado), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Guatemala, 2009, pp. 1-23, [Consulta: 2016-08-24]. Disponible en: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3006\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3006_C.pdf)

29. **SÁNCHEZ ALZOLA, Alberto;** *Monitorización Geodésica De Deformaciones En El Archipiélago Balear Y En El Sector Oriental De La Cordillera Bética A Partir De Series Temporales GNSS De Estaciones Permanentes Por Procesado PPP*. [en línea], (tesis). (Doctoral), Universidad de Jaén, Escuela Politécnica Superior de Jaén, Departamento de Ingeniería, Cartografía, Geodésica y Fotogrametría, Jaén, 2014, pp. 8-65. [Consulta: 2016-08-24]. Disponible en: <http://ruja.ujaen.es/handle/10953/695>
  
30. **SIERRA CALDERÓN, ANA;** *Desarrollo De Una Aplicación Web Para Representación De Datos De Posicionamiento* [en línea]. (tesis). (Pregrado) Universidad Autónoma de Barcelona, Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, Especialidad en Sistemas Electrónicos, Barcelona, España. 2009, pp. 4-10. [Consulta: 2016-09-24] Disponible en: [https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2009/hdl\\_2072\\_48077/PFC\\_AnaSierraCalderon.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2009/hdl_2072_48077/PFC_AnaSierraCalderon.pdf)
  
31. **SILVA ALTAMIRANO, José Alberto;** *Generación del Modelo Matemático Ionosférico Local, Mediante Medidas de Falsa Distancia a Partir de Estaciones de Monitoreo Continuo GPS*, [en línea]. (tesis). (Pregrado), Escuela Politécnica del Ejército, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Sangolquí, Quito, Ecuador, 2009, pp. 13-27, [Consulta: 2016-11-24] Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/883/1/T-ESPE-026604.pdf>
  
32. **SUDHA NEELIMA, THIPPARTHI;** *Improving Positional Accuracy Using Carrier Smoothing Techniques In Inexpensive Gps Receivers* [en línea]. (tesis). (Maestría), Universidad de Estado de Nuevo México, Ciencias en Ingeniería Eléctrica, Las Cruces, Estado de Nuevo México, México, 2004, pp. 23-48. [Consulta: 2016-09-04] Disponible en: [http://wordpress.nmsu.edu/ccreuser/files/2014/07/Sudha\\_thipparthi.pdf](http://wordpress.nmsu.edu/ccreuser/files/2014/07/Sudha_thipparthi.pdf)
  
33. **TEJADA AGOSTINA.** *Diseño Y Programación De Software Para El Control De Calidad Y Condiciones De Archivos Rinex Para Procesamiento De Observaciones GNSS* [en línea]. (tesis). (Pregrado) Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ingeniería, Ingeniería en Agrimensura, San Juan, 2016, pp. 36-50. [Consulta: 2016-07-18] Disponible en: [ftp://ftp.unsj.edu.ar/agrimensura/Trabajo%20Final/Trabajo%20Final\\_Tejada,Agostina.pdf](ftp://ftp.unsj.edu.ar/agrimensura/Trabajo%20Final/Trabajo%20Final_Tejada,Agostina.pdf)
  
34. **ZABALA HARO Mónica Andrea.** *DETERMINATION OF MONITOR THRESHOLDS FOR A GBAS GROUND STATION*. (tesis). (Maestría) Universidad de Toulouse, Master Sciences in Global Navigation Satellite System, Toulouse, Francia, 2015, pp. 7-22. [Consulta: 2016-04-18]

## **ANEXOS**

### **ANEXO A    TABLAS DE LOS ARCHIVOS RINEX**

#### **Archivo RINEX**

Los archivos RINEX son formatos de tipo ficheros de texto que permite el almacenamiento de las medidas que son proporcionados por los receptores GNSS y dentro de esta constelación encontramos el GPS, GLONASS, GALILEO y BEIDOU; este archivo se puede descargar desde la página web de la nasa <https://cddis.nasa.gov/> y de la estación de recepción que estamos utilizando se puede ver en la figura 20-2 ([http://www.geoinstitutos.com/noticias/Ecuador/288/regme-\(red-gnss-de-monitoreo-continuo-del-ecuador\)](http://www.geoinstitutos.com/noticias/Ecuador/288/regme-(red-gnss-de-monitoreo-continuo-del-ecuador).)).

#### **Archivo Rinex de Navegación**

Los mensajes de navegación contienen los datos que necesita recibir el usuario para el cálculo o determinación de la posición; esta información viaja a 50 bps y se modula sobre los dos portadores L1 y L2.

- Información de la sincronización de tiempo
- Estado del satélite
- Parámetros para el cálculo de las correcciones en el reloj
- Las efemérides del satélite
- Correcciones en los retardos atmosféricos
- Almanaque de la constelación
- Mensajes espaciales
- Mensajes de uso militar

*Los archivos Rinex de Navegación contienen la información:*

```

2.10      NAVIGATION DATA      G (GPS)      RINEX VERSION / TYPE
DAT2RINW 3.10 001  ESPE      18FEB09 10:23:30  PGM / RUN BY / DATE
                                           COMMENT
                                           ION ALPHA
                                           ION BETA
                                           DELTA-UTC: A0,A1,T,W
15      LEAP SECONDS
                                           END OF HEADER
2 09 2 17 12 0 0.0 .157113187015D-03 -.125055521494D-11 .000000000000D+00
.190000000000D+02 .447500000000D+02 .486377402428D-08 .305765526963D+01
.232644379139D-05 .896356394514D-02 .868923962116D-05 .515361747742D+04
.216000000000D+06 -.130385160446D-06 .134661736032D+01 .707805156708D-07
.941522909363D+00 .201437500000D+03 .272339225896D+01 -.798247535928D-08
-.320013329840D-09 .100000000000D+01 .151900000000D+04 .000000000000D+00
.240000000000D+01 .000000000000D+00 -.172294676304D-07 .190000000000D+02
.212208000000D+06 .400000000000D+01

```

Fuente: (NAVARRO JUAN JOSÉ, 2004)

**Tabla 8.2** Características del Archivo de Navegación

Etiqueta de la Cabecera	Descripción
RINEX VERSION / TYPE	<p>Versión de RINEX / Tipo de Fichero</p> <p><b>“n” navegación</b></p> <p>Sistemas de Satélite</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• G o vacío: GPS</li> <li>• R: GLONASS</li> <li>• T: NWSS Transit</li> <li>• M: Mixto</li> </ul>
PGM / RUN BY / DATE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa que crea este fichero</li> <li>• Agencia que crea este fichero</li> <li>• Día de creación del fichero</li> </ul>
COMMENT	Comentario
ION ALPHA	Parámetros Ionosféricos A0-A3 del almanaque
ION BETA	Parámetros Ionosféricos B0-B3 del almanaque
DELTA –UTC: A0, A1, T, W	<p>Parámetros del almanaque para calcular el tiempo en el sistema UTC:</p> <p>A0, A1: Términos del polinomio</p> <p>T : Tiempo de referencia para datos UTC</p>

	W : Número de la Semana UTC de referencia
LEAP SECONDS	Salto de segundos entre épocas en segundos
END OF HEADER	Final de la cabecera
<b>Registro de Observación</b>	<b>Descripción</b>
PRN  EPOCH  SV CLK	Número PRN del satélite / Época (año mes día hora min.seg.)  <ul style="list-style-type: none"> <li>SV desviación del reloj del satélite [s]</li> <li>SV Deriva del reloj del satélite [s/s]</li> <li>SV Período de deriva [s/s<sup>2</sup>]</li> </ul>
TRANSMISION DE LA ORBITA 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>IODE Edad de las efemérides (s)</li> <li>Corrección Crs [m]</li> <li>Delta n: Diferencia media de movimiento [rad / s].</li> <li>MO: Anomalía media [rad].</li> </ul>
TRANSMISION DE LA ORBITA 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Corrección Cuc (rad)</li> <li>e: Excentricidad de la órbita del satélite</li> <li>Corrección Cus (rad)</li> <li>Sqrt (A) Raíz cuadrada del semieje mayor (<math>m^{1/2}</math>)</li> </ul>
TRANSMISION DE LA ORBITA 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toe: Tiempo de las efemérides (segundos de semana GPS)</li> <li>Corrección Cic (rad)</li> <li>Ascensión recta del Nodo de longitud ascendente (OMEGA) (rad)</li> <li>Corrección Cis (rad)</li> </ul>
TRANSMISION DE LA ORBITA 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>io: Inclinação (rad)</li> <li>Corrección Crc (m)</li> <li>Argumento del perigeo (rad)</li> <li>Variación del nodo de longitud (OMEGA DOT) (rad / s)</li> </ul>
TRANSMISION DE LA ORBITA 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>Variación del cambio de inclinación (IDOT) (rad / s) Códigos en el canal L2</li> <li>Semana GPS</li> <li>Aviso de datos de código P en L2.</li> </ul>

TRANSMISION DE LA ORBITA 6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precisión del satélite (m)</li> <li>• Salud del satélite (entrada MSB)</li> <li>• Retardo ionosférico (TGD) (s)</li> <li>• Edad de los datos del reloj (IODC)(s)</li> </ul>
TRANSMISION DE LA ORBITA 7	Tiempo de transmisión del mensaje (s de semana GPS)

**Fuente:** (NAVARRO JUAN JOSÉ, 2004)

### Archivo Rinex de Observación

En la cabecera del fichero de observación se describe el contenido del fichero, el nombre de la estación, información de las antenas, coordenadas aproximadas de la estación, número y tipos de observación, intervalos de observación en segundos y el tiempo de la primera observación registrada.

Los archivos de observación contienen la información:

Etiqueta de la Cabecera	Descripción
RINEX VERSION / TYPE	<p>Versión de RINEX / Tipo de Fichero</p> <p><b>“o” observación</b></p> <p>Sistemas de Satélite</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• G o vacío: GPS</li> <li>• R: GLONASS</li> <li>• T: NWSS Transit</li> <li>• M: Mixto</li> </ul>
PGM / RUN BY / DATE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa que crea este fichero</li> <li>• Agencia que crea este fichero</li> <li>• Día de creación del fichero</li> </ul>
COMMENT	Comentario
MARKER NAME	Nombre del punto de Observación
MARKER NUMBER	Número del Punto de Observación
OBSERVER	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre del Observador</li> <li>• Agencia o Institución que observa</li> </ul>

AGENCY	
REC #  TYPE  VERS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Numero</li> <li>• Tipo</li> <li>• Software usado por el receptor</li> </ul>
ANT #  TYPE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Numero</li> <li>• Tipo de Antena</li> </ul>
APPROX POSITION XYZ	Posición absoluta aproximada del punto en la última época en X Y Z
ANTENNA: DELTA  H  E  N	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altura de la antena</li> <li>• Excentricidades relativas al este</li> <li>• Al norte (m)</li> </ul>
WAVELENGTH FACT L1/2	Factores para L1 y L2 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1: Ciclos enteros completos</li> <li>• 2: Medio ciclo</li> <li>• 0 en L2: Solo una frecuencia L1</li> </ul>
# / TYPES OF OBSERV	Números de observables / tipos diferentes de observaciones  Tipos de Observables <ul style="list-style-type: none"> <li>• L1, L2: Fase medida para L1 y L2</li> <li>• C1: Falsa distancia usando el código C/A en L1</li> <li>• P1, P2: Falsa distancia usando el código P para L1 y L2</li> <li>• D1, D2: Frecuencia Doppler en L1 y L2</li> <li>• T1, T2: Señal Doppler transit integrada 150 kHz (T1), 400 kHz (T2)</li> </ul> Unidades  Fase: ciclos enteros  Falsa distancia: (metros)  Doppler: (Hz)  Transit: ciclos

INTERVAL	Intervalo de observaciones (épocas) en s
TIME OF FIRST OBS	<p>Tiempo de la primera época de grabación (4 dígitos para el año, mes, día, hora, minutos y segundos)</p> <p>Ejemplo:</p> <p>1990 3 24 13 10 36.000000</p>
TIME OF LAST OBS	<p>Tiempo de la última época de grabación (4 dígitos para el año, mes, día, hora, minutos y segundos)</p> <p>Ejemplo:</p> <p>1990 3 24 13 10 36.000000</p>
LEAP SECONDS	Salto de segundos entre épocas en segundos
PRN  # OF OBS	<p>Pseudo-Rango-Noise (número de satélite)</p> <p>Numero de observaciones para cada tipo de observaciones indicadas en #</p> <p>TYPES OF OBSERV</p> <p>Para cada satélite se repite este registro</p>
END OF HEADER	Final de la Cabecera
<b>Registro de Observación</b>	<b>Descripción</b>
EPOCH  SAT or EVENT FLAG	<p>Época</p> <p>Año mes día hora min seg</p> <p>Epoch Flag:</p> <p>0: OK</p> <p>1: falla de sincronización entre la época anterior y la actual</p> <p>&gt;1: event flag</p> <p>Numero de satélite en la época actual</p> <p>Lista de PRNs (número de los satélites)</p> <p>Desfase del reloj del receptor</p>

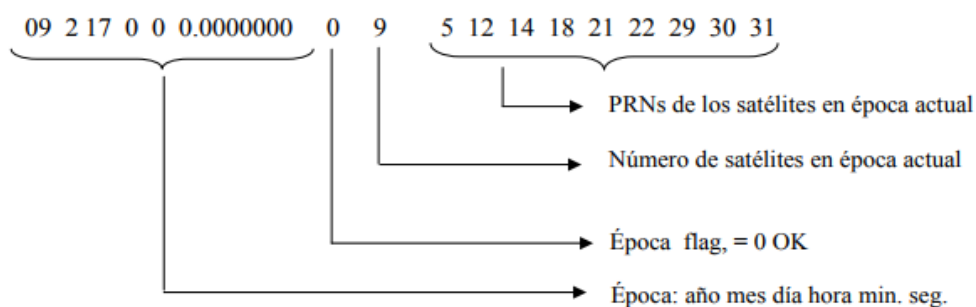


Observaciones	<p>Cada satélite repite un valor para cada tipo de observación</p> <p>Los espacios en blanco o escritos 0.0 indican observaciones perdidas.</p>
---------------	---

**Fuente:** (NAVARRO JUAN JOSÉ, 2004)

2.10	OBSERVATION DATA	G (GPS)	RINEX VERSION / TYPE
DAT2RINW 3.10 001	ESPE	18FEB09 10:23:30	PGM / RUN BY / DATE
ESPE	ESPE		OBSERVER / AGENCY
4747K11267	TRIMBLE NETR5	Nav 3.32 Sig 0.00	REC # / TYPE / VERS
	TRM41249.00		ANT # / TYPE
Offset from BOTTOM OF ANTENNA to PHASE CENTER is 53.3 mm			COMMENT
ESTACION_COTOPAX			COMMENT
COTOPAX			MARKER NAME
1263695.2215 -6254984.5060 -68886.6117			MARKER NUMBER
1.2333 0.0000 0.0000			APPROX POSITION XYZ
*** Above antenna height is from mark to PHASE CENTER.			ANTENNA: DELTA H/E/N
Note: The above height is to the antenna phase center.			COMMENT
The RINEX specification calls for this to be the			COMMENT
height from the bottom surface of the antenna mount			COMMENT
to the survey mark.			COMMENT
Note: The above offsets are CORRECTED.			COMMENT
Raw Offsets: H= 1.1800 E= 0.0000 N= 0.0000			COMMENT
1 1 0			WAVELENGTH FACT L1/2
6 L1 C1 L2 C2 P2 D1			# / TYPES OF OBSERV
600.000			INTERVAL
2009 2 17 0 0 0.0000000			TIME OF FIRST OBS
2009 2 17 23 50 0.0000000			TIME OF LAST OBS
0			RCV CLOCK OFFS APPL
31			# OF SATELLITES
2 57 57 55 0 55 57			PRN / # OF OBS
3 35 35 35 0 35 35			PRN / # OF OBS
4 41 41 38 0 38 41			PRN / # OF OBS
5 45 45 43 0 43 45			PRN / # OF OBS
6 40 40 37 0 37 40			PRN / # OF OBS


**Fuente:** (NAVARRO JUAN JOSÉ, 2004)



**Fuente:** (NAVARRO JUAN JOSÉ, 2004)

-5347357.75005	23083651.83605	-3892380.34646	23083650.91846	→ Obs. para 5
-1488001.42112	24186925.60902	-1152476.67117	0.00000	→ Obs. para 12
-5161226.84505	23857829.78105	-3911120.20246	23857827.88746	→ Obs. para 14
-16752308.50807	21128989.93007	-13928730.26248	21128987.27748	→ Obs. para 18
-19411992.22507	21306258.94507	-15109303.16248	21306256.66848	→ Obs. para 21
-15730344.07107	21735031.68007	-12249622.36548	21735027.93448	→ Obs. para 22
-2021576.33705	24426307.66405	-1568935.05908	0.00000	→ Obs. para 29
-15197332.92707	21482286.18807	-11693665.11648	21482284.70748	→ Obs. para 30
-18263994.86507	20985816.04707	-14225496.93009	0.00000	→ Obs. para 31

				
L1 (ciclos)	C1 (metros)	L2 (ciclos)	P2 (metros)	

Fuente: (NAVARRO JUAN JOSÉ, 2004)

## RECOLECCIÓN DE LOS DATOS

El archivo Rinex son de la fecha 29 de enero de 00:00:00 a 05:59:59.

El intervalo entre las observaciones es de 1seg.

Rinex File	Data and Time	Constellation	Measurement Type
SEPT0291	29/01/2014 18:00:00 to 23:59:59	GPS	L1, L2 , C1, C2

De los archivos Rinex extraemos solo la información principal y más importante son:

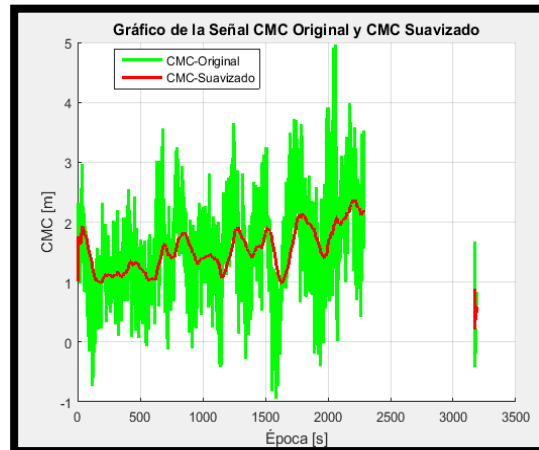
- Pseudorango y Código que está representado en la variables (L1, L2, C1, C2) obteniendo en metros.
- Los satélites visibles

## ANEXO B

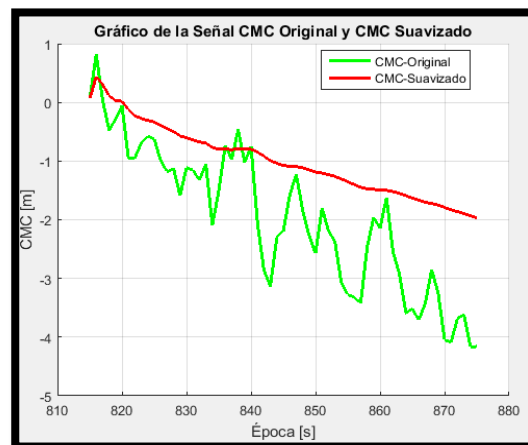
### GRÁFICAS DE LOS SATÉLITES RESTANTES

Tiempo Optimo ( $\tau=100$  s)

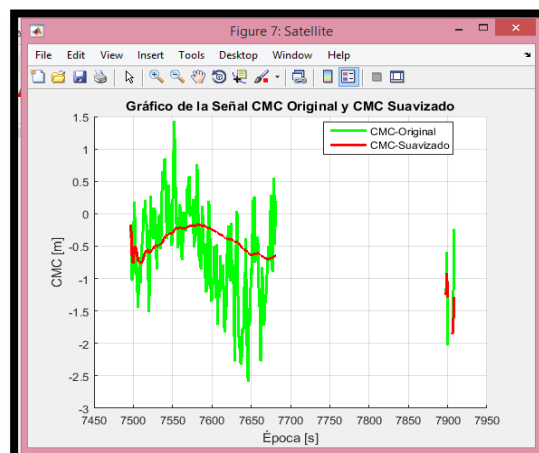
Satélite # 17 en vista



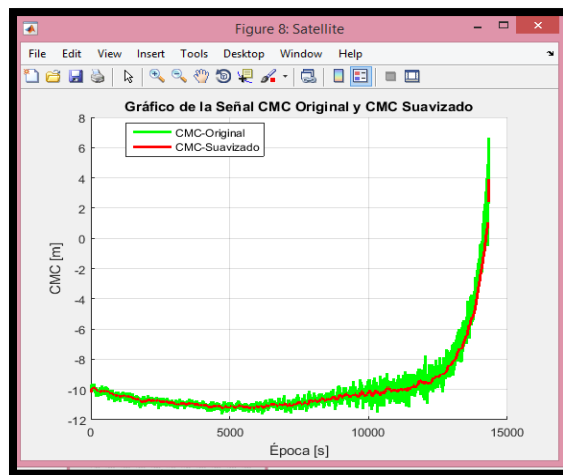
Satélite # 18 en vista



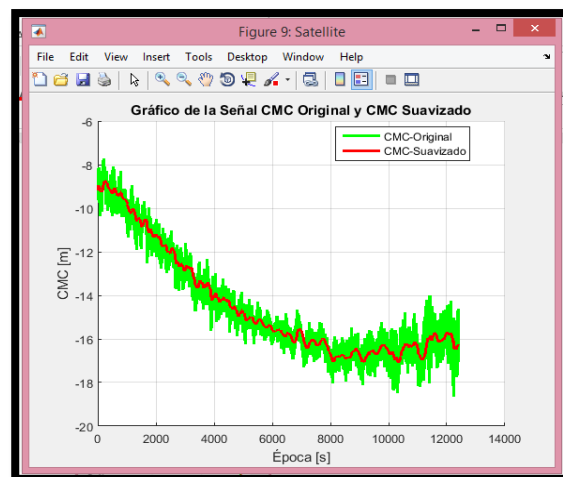
Satélite # 24 en vista



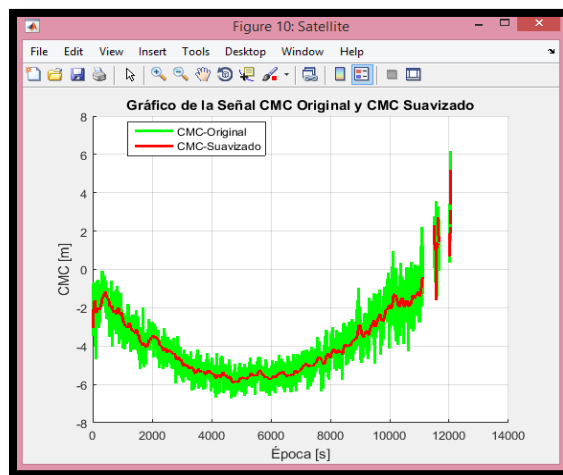
Satélite # 26 en vista



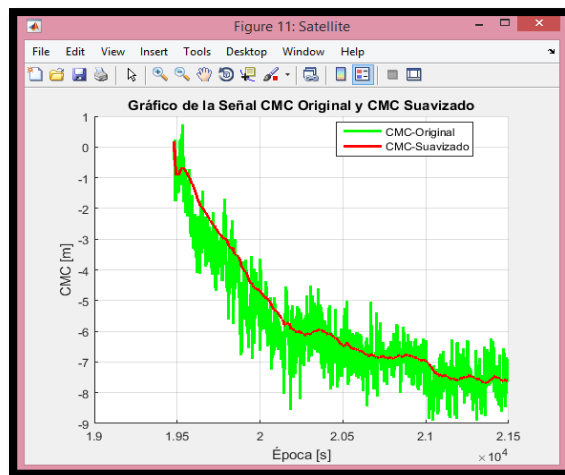
Satélite # 28 en vista



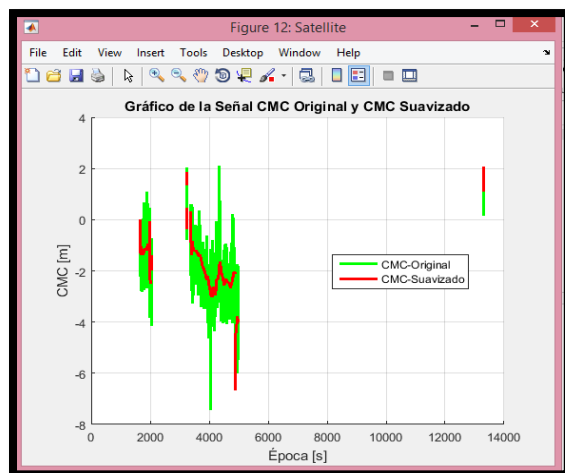
Satélite # 3 en Vista



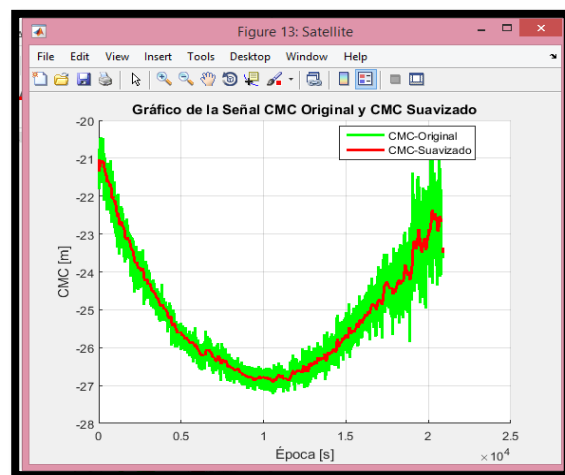
Satélite # 7 en vista



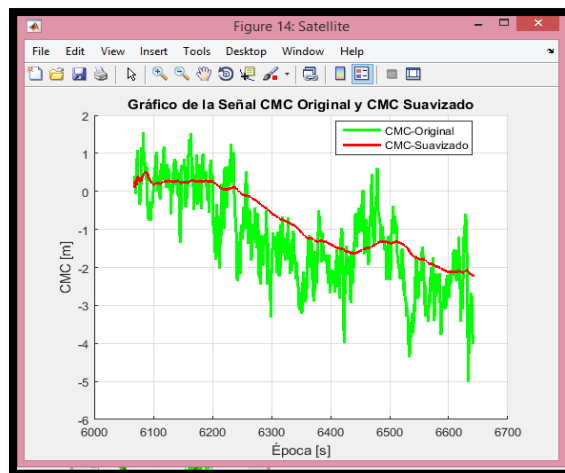
Satélite # 19 en vista



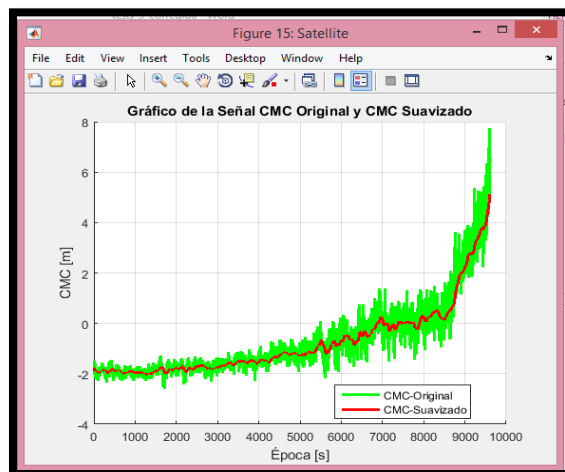
Satélite # 32 en vista



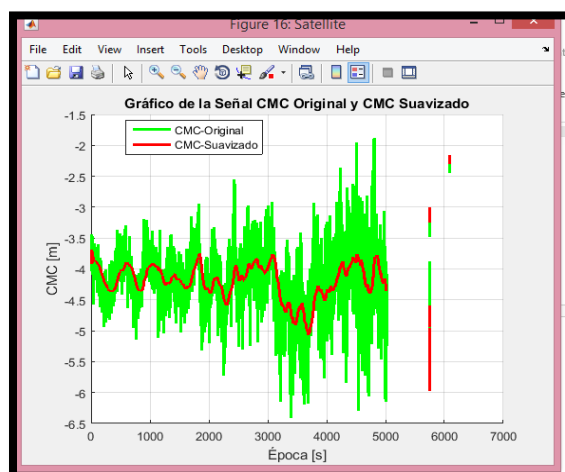
Satélite # 30 en Vista



Satélite # 37 en vista

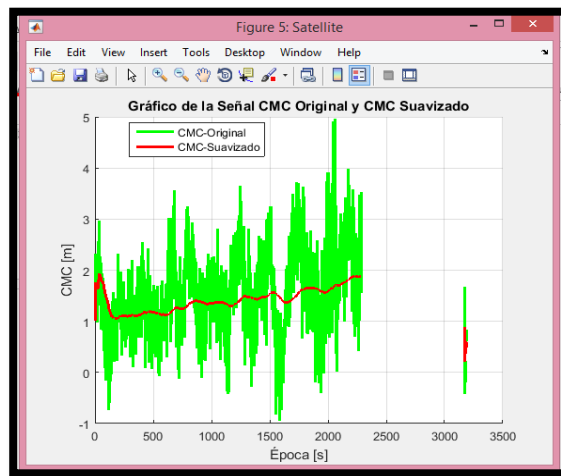


Satélite # 23 en vista

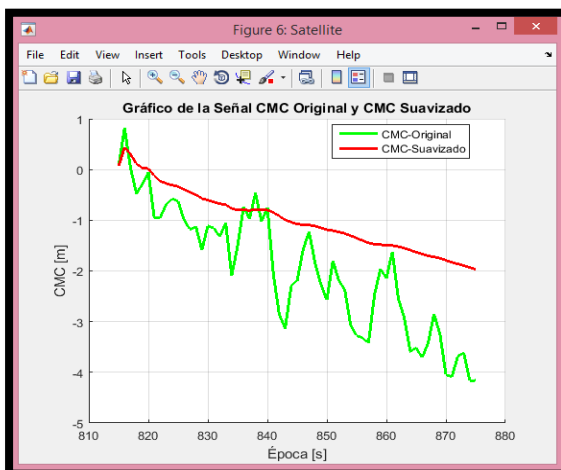


**Tiempo Optimo ( $\tau=500$  s)**

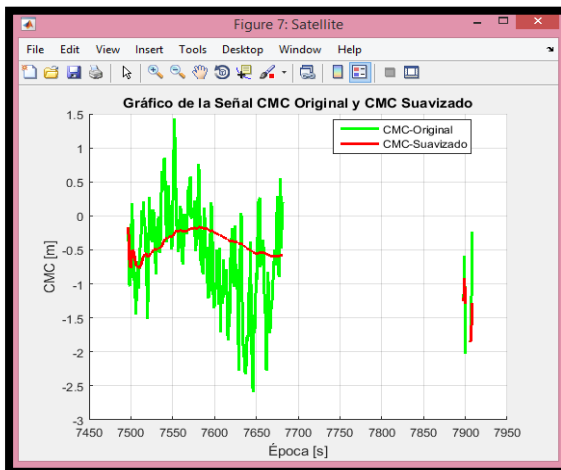
Satélite # 17 en vista



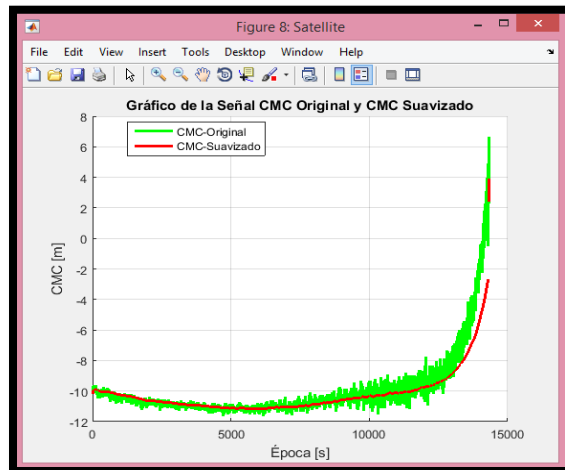
Satélite # 18 en vista



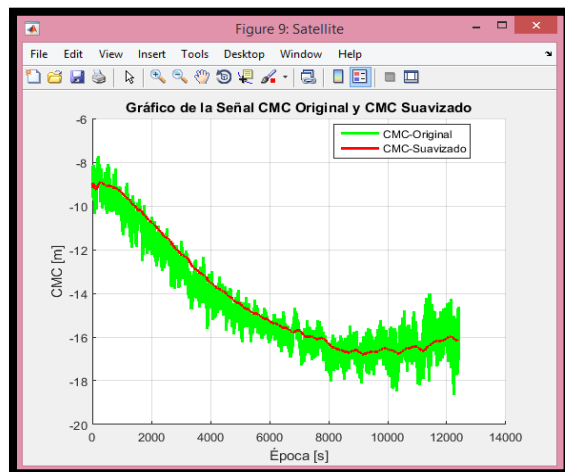
Satélite # 24 en vista



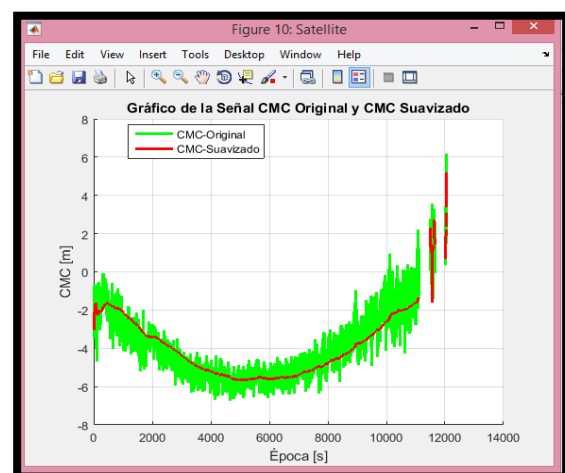
Satélite # 26 en vista



Satélite # 28 en vista

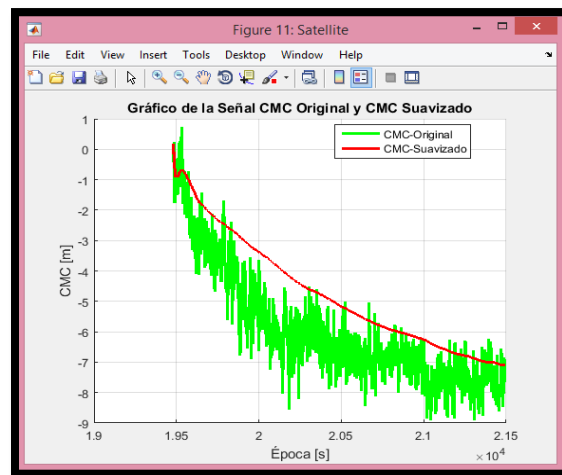


Satélite # 3 en vista

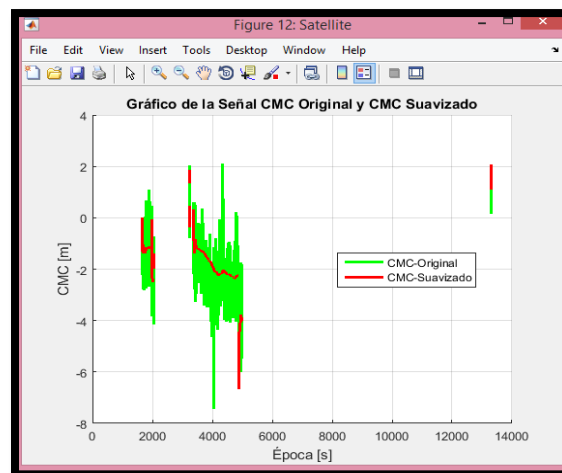




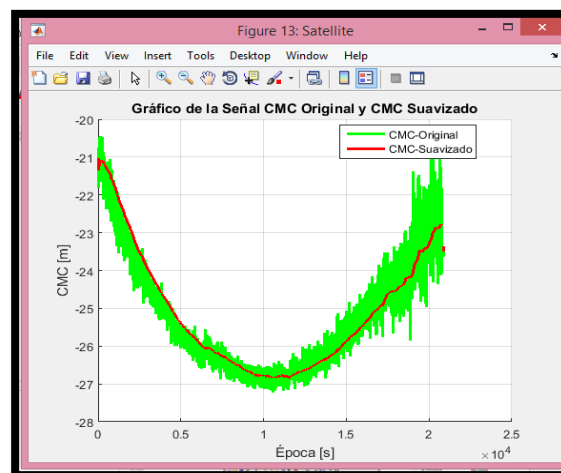
Satélite # 7 en vista



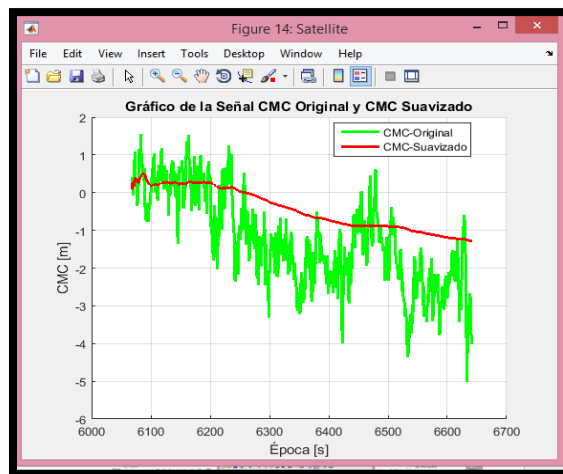
Satélite # 19 en vista



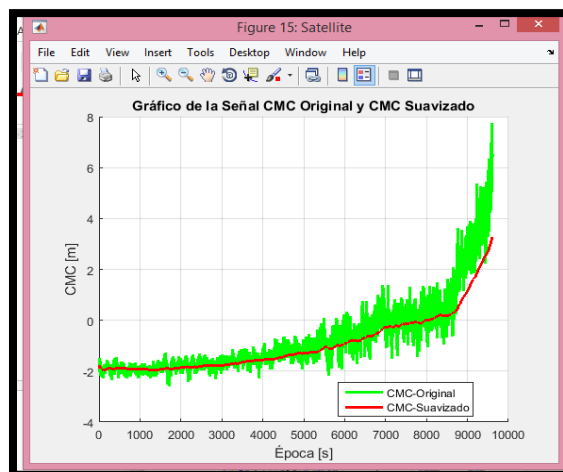
Satélite # 32 en vista



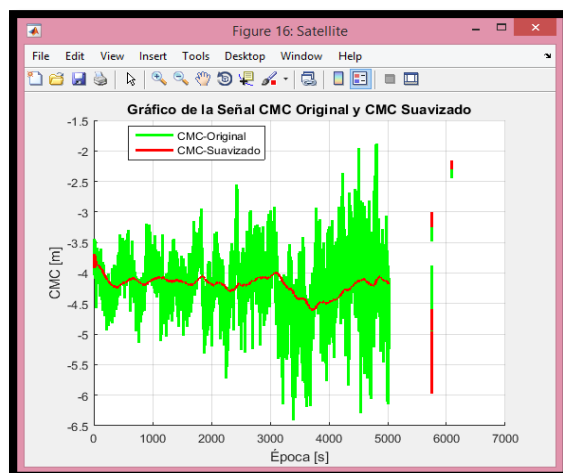
Satélite # 30 en vista



Satélite # 37 en vista

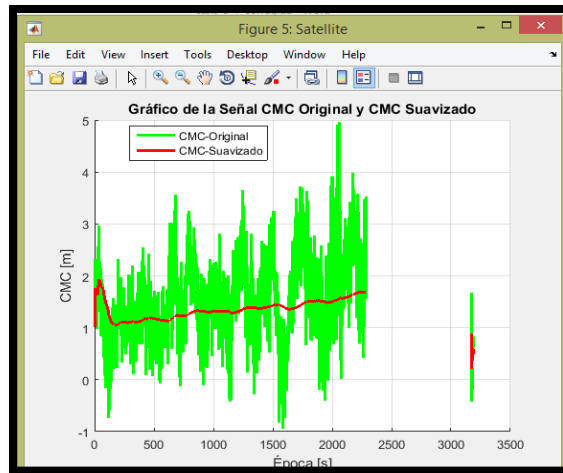


Satélite # 23 en vista

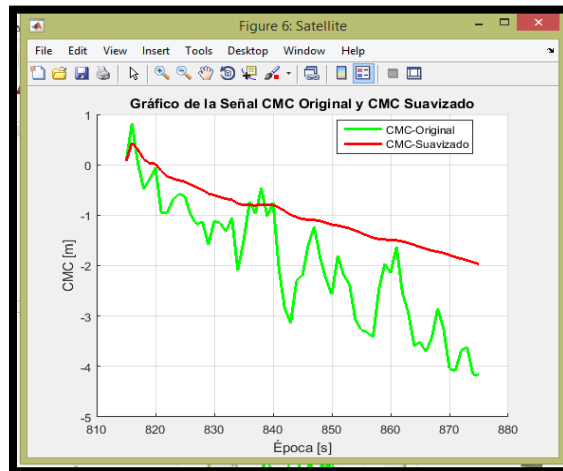


**Tiempo Optimo ( $\tau=1000$  s)**

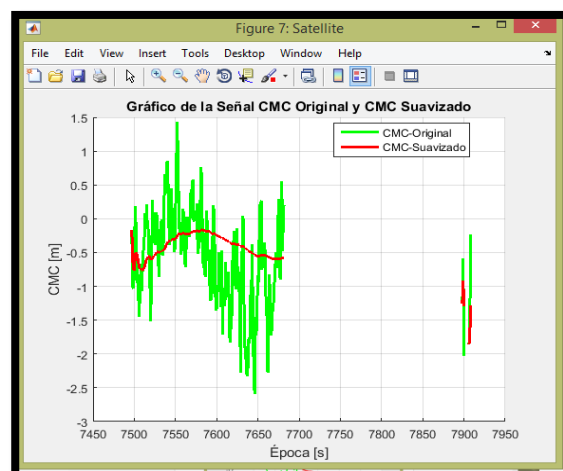
Satélite # 17 en vista



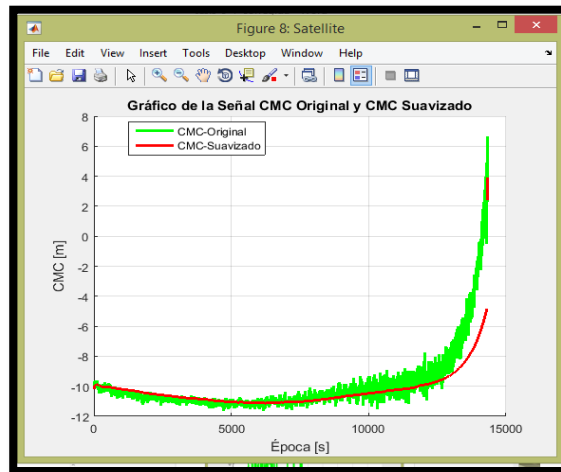
Satélite # 18 en vista



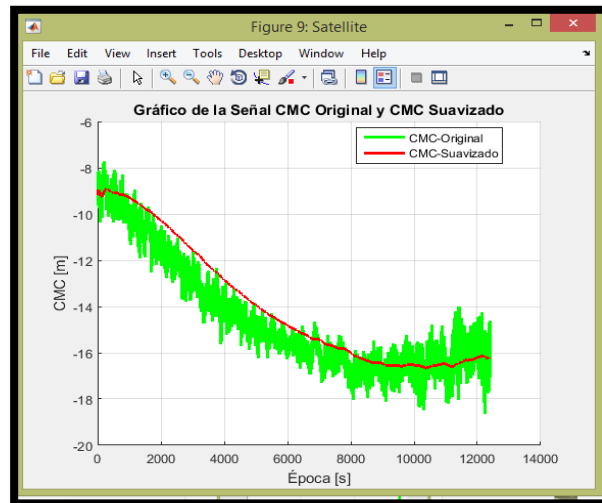
Satélite # 24 en vista



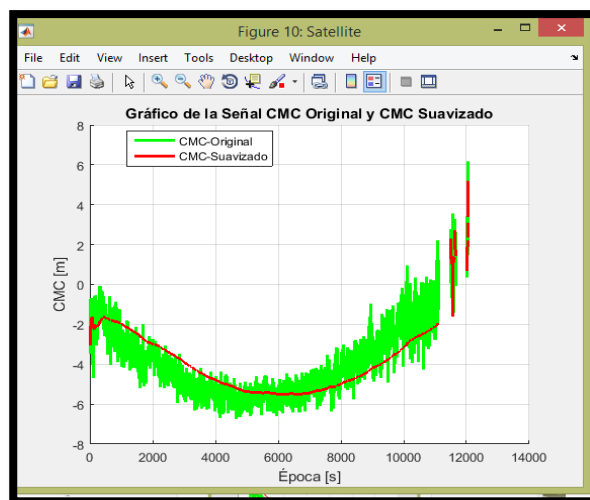
Satélite # 26 en vista



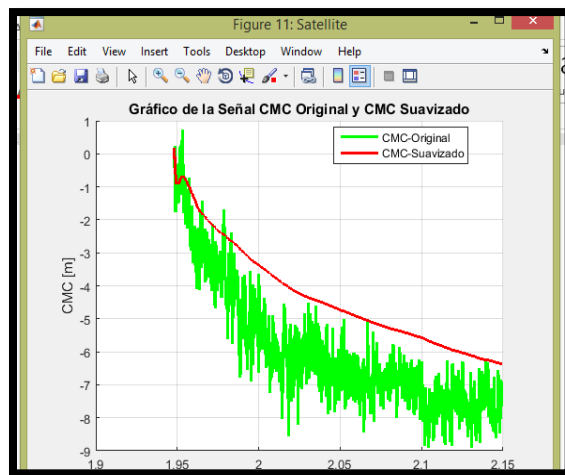
Satélite # 28 en vista



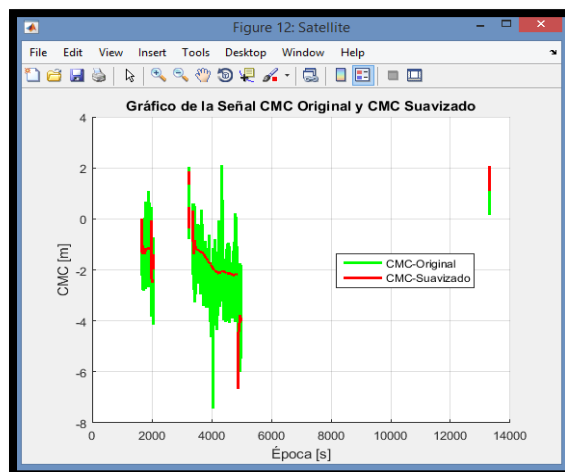
Satélite # 3 en vista



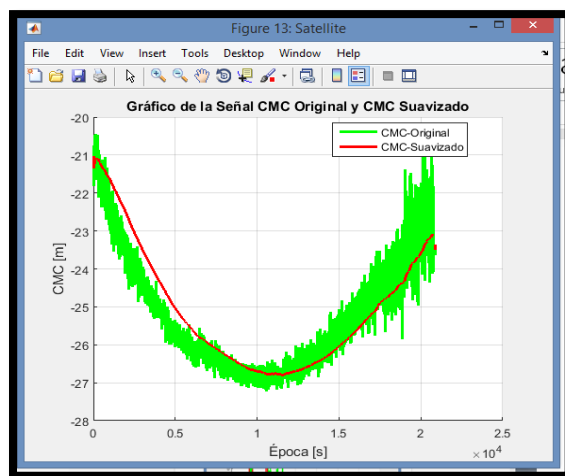
Satélite # 7 en vista



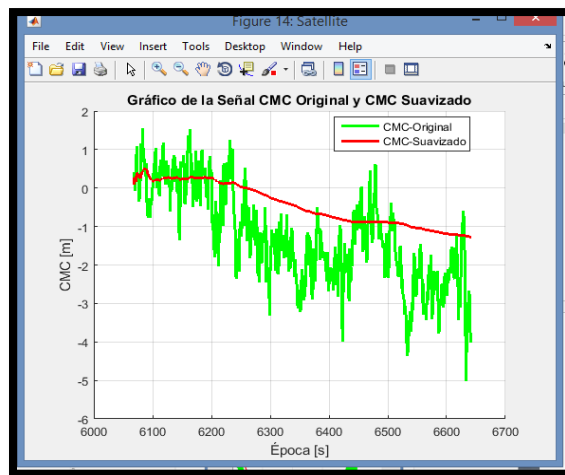
Satélite # 19 en vista



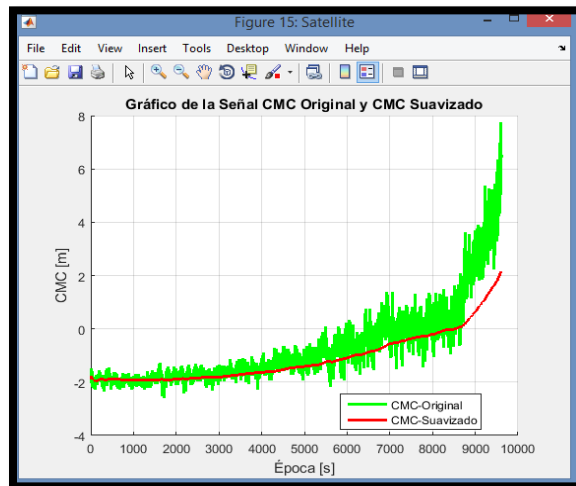
Satélite # 32 en vista



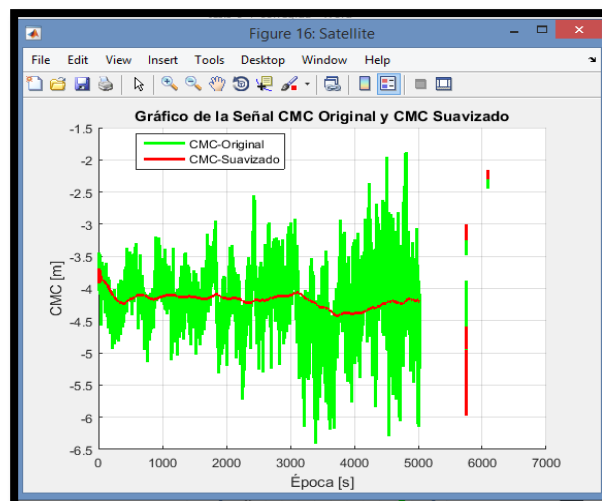
Satélite # 30 en vista



Satélite # 37 en vista

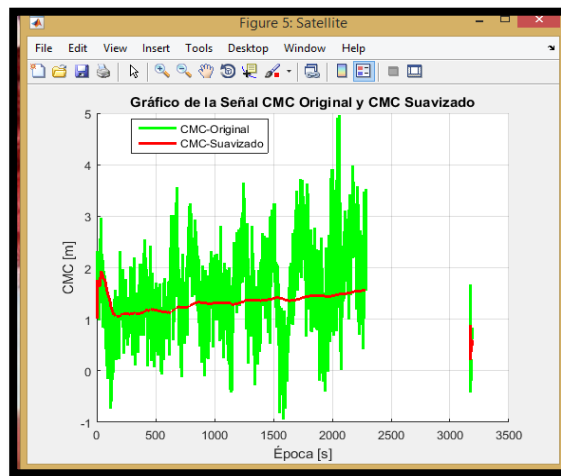


Satélite # 23 en vista

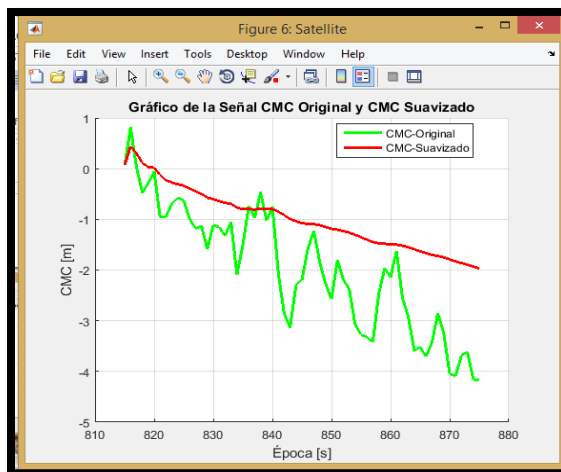


**Tiempo Optimo ( $\tau=2000$  s)**

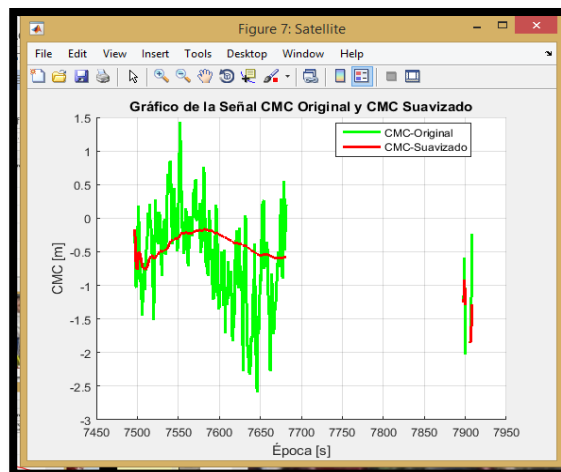
Satélite # 17 en vista



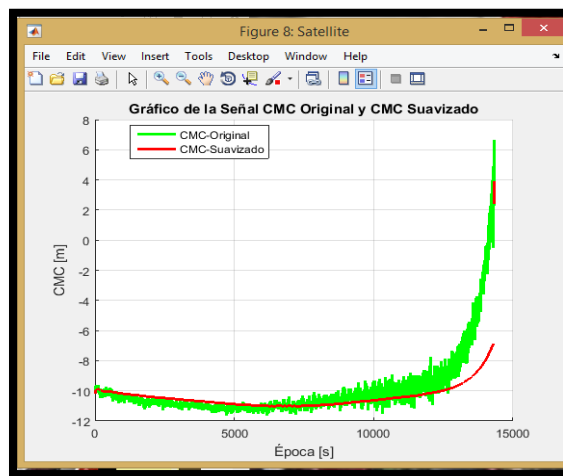
Satélite # 18 en vista



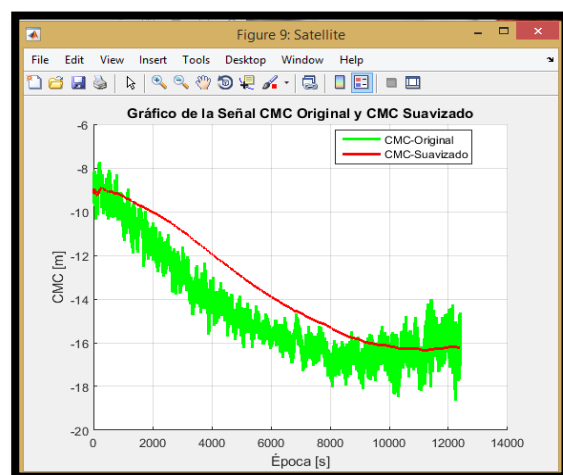
Satélite # 24 en vista



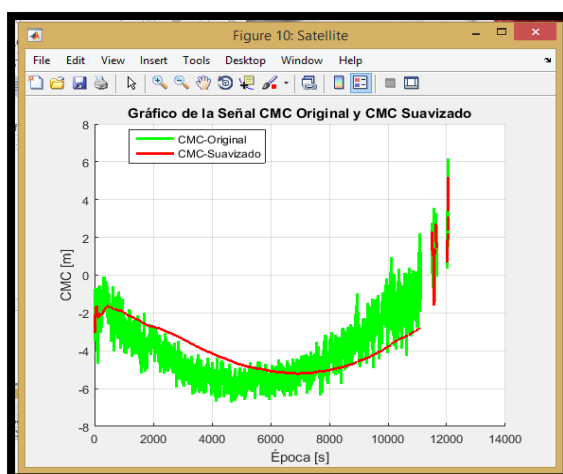
Satélite # 26 en vista



Satélite # 28 en vista

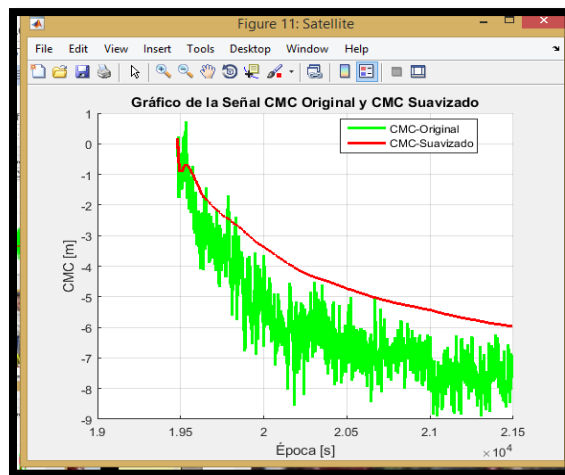


Satélite # 3 en vista

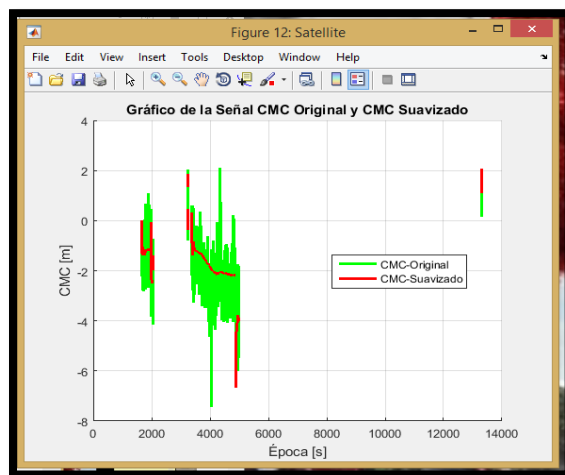




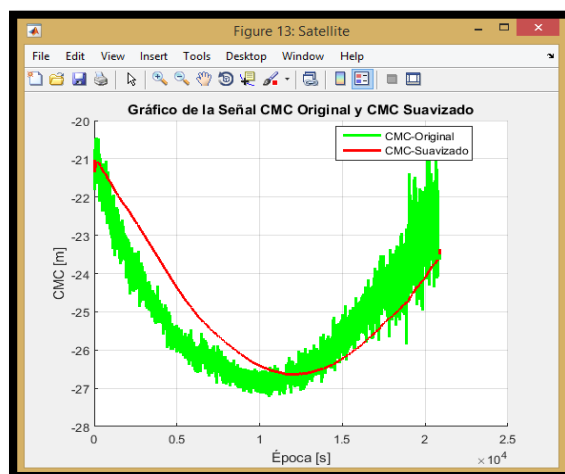
Satélite # 7 en vista



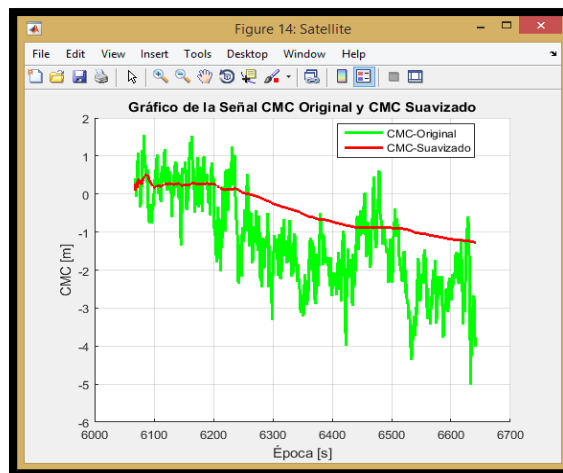
Satélite # 19 en vista



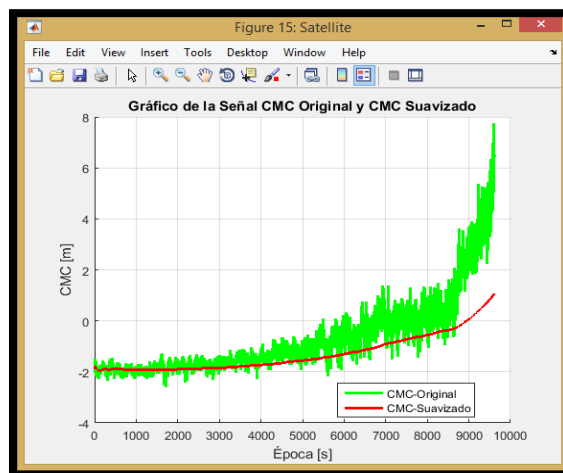
Satélite # 32 en vista



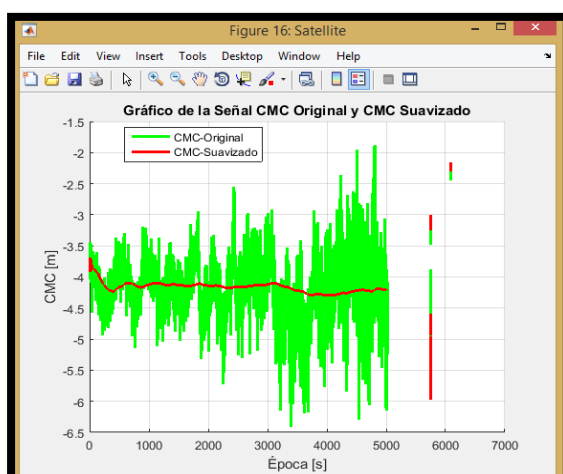
Satélite # 30 en vista



Satélite # 37 en vista

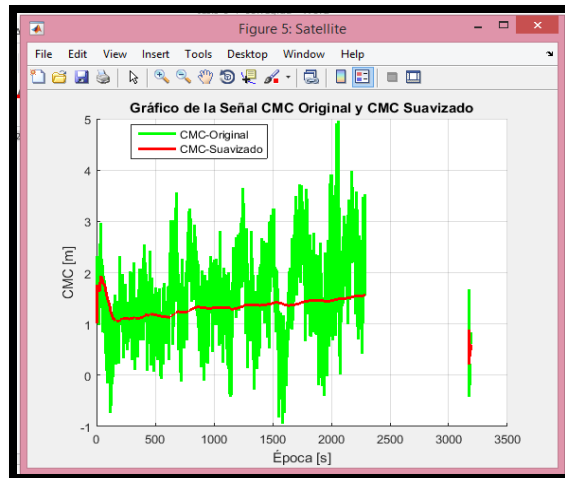


Satélite # 23 en vista

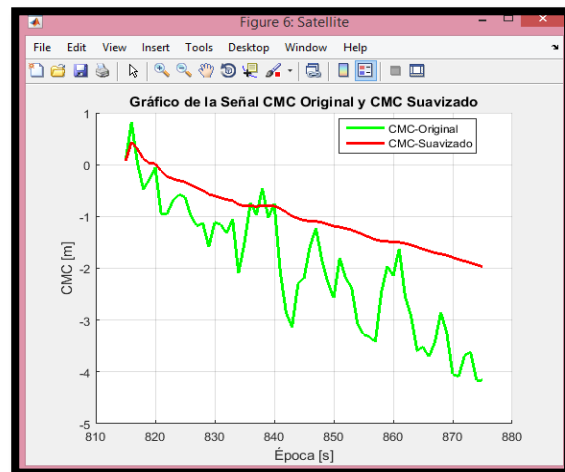


**Tiempo Optimo ( $\tau=5000$  s)**

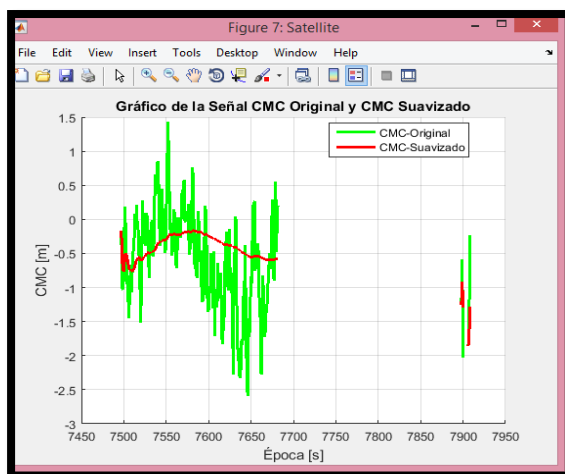
Satélite # 17 en vista



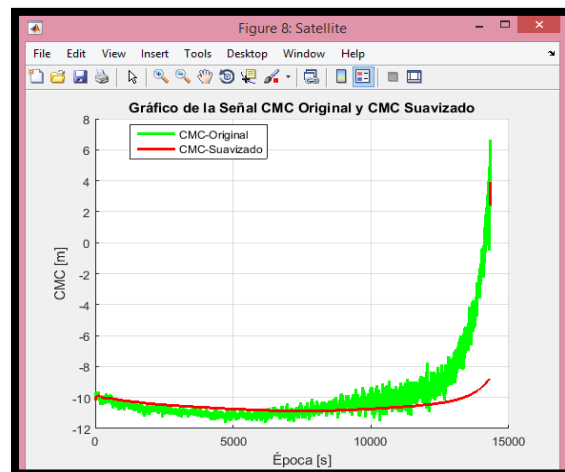
Satélite # 18 en vista



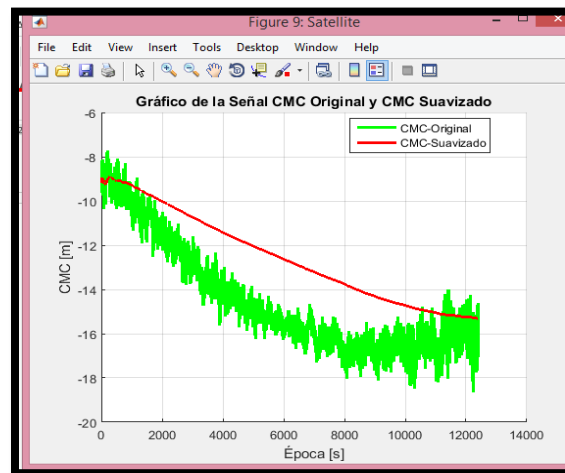
Satélite # 24 en vista



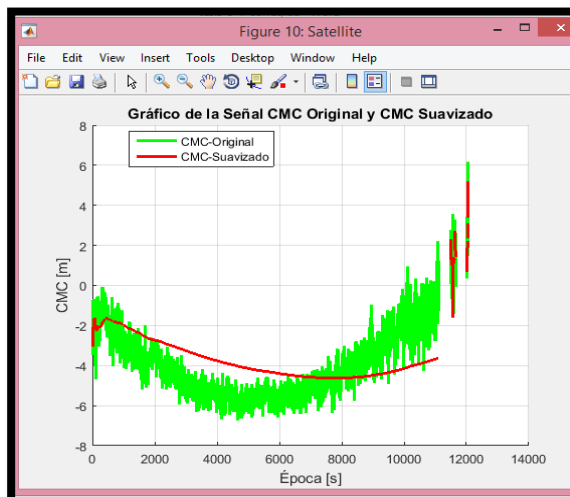
Satélite # 26 en vista



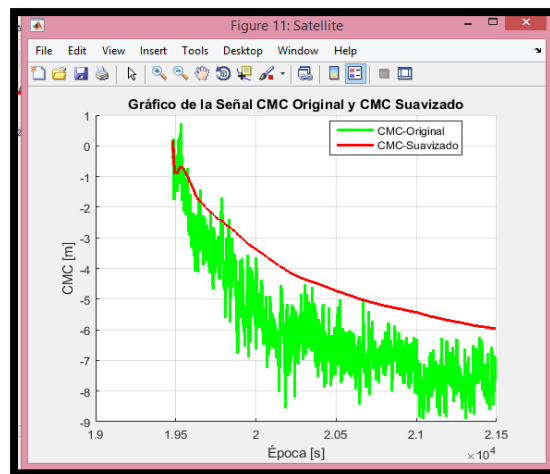
Satélite # 28 en vista



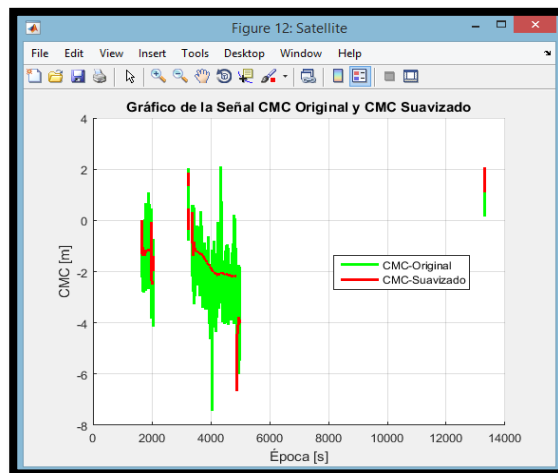
Satélite # 3 en vista



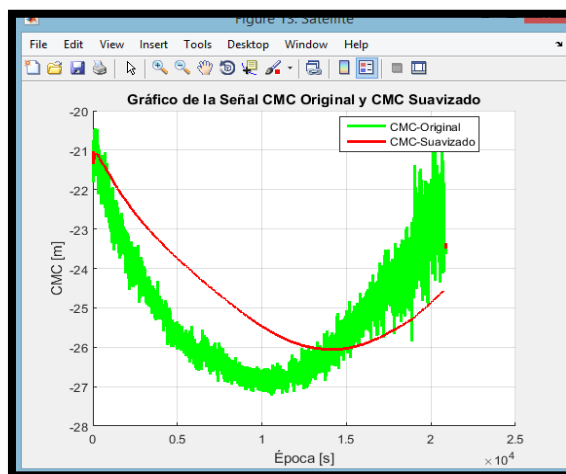
Satélite # 7 en vista



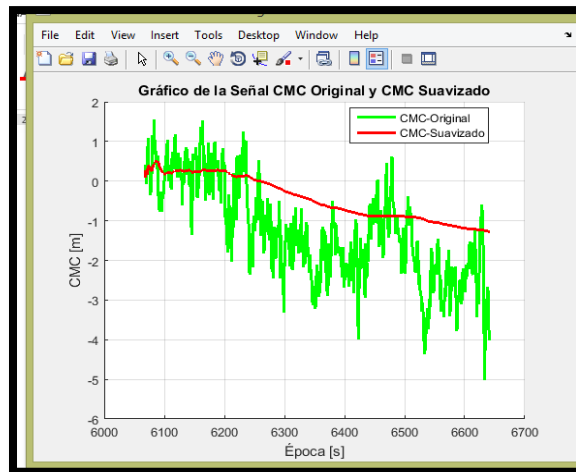
Satélite # 19 en vista



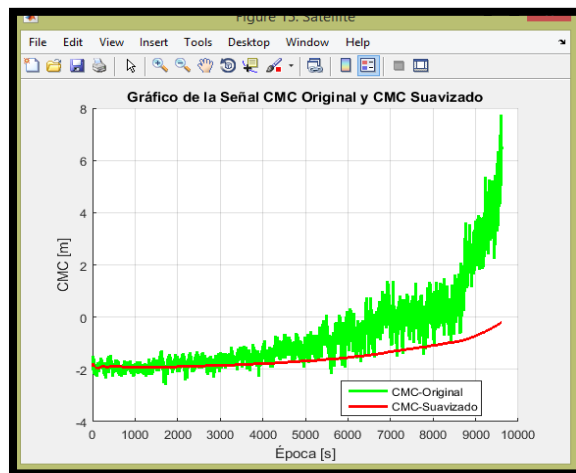
Satélite # 32 en vista



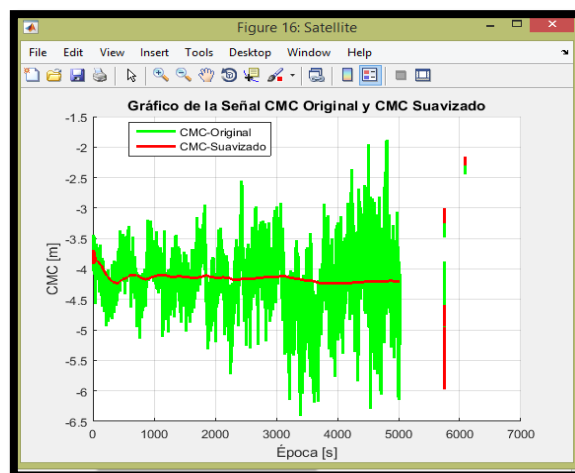
Satélite # 30 en vista



Satélite # 37 en vista



Satélite # 23 en vista



## ANEXO C

### CÓDIGO EN MATLAB

Llamado de la información en Matlab

```
clear all  
close all  
format long
```

%% Lectura de los Archivos RINEX

% Lectura de los RINEX de Observación

```
disp('Leyendo los RINEX de Observación...');  
RINEXo = 'E:\PROGRA_TESIS_MATLAB\backup\SEPT0291.14O'; % insertar el nombre del  
archivo rinex de observación  
Rcx_info = read_GPS_RINEX_1(RINEXo);
```

% Lectura de los RINEX de navegación y obtención de su Efemérides

```
disp('Leyendo los RINEX de Navegacion...');  
RINEXn = 'E:\PROGRA_TESIS_MATLAB\backup\SEPT0291.14N'; % insertar el nombre del  
archivo rinex de navegacion  
rinexe(RINEXn, 'eph.dat');  
eph_mtx = get_eph('eph.dat');
```

%% IONO Parámetros de Corrección para ION ALPHA & ION BETA

%Comprobación de los valores alfa y beta correctos para cada archivo

```
alpha = [2.3283e-08 0.0000e+00 -1.1921e-07 1.1921e-07];  
beta = [1.4336e+05 -1.9661e+05 0.0000e+00 1.9661e+05];
```

%% Insertar las coordenadas del Receptor

% Coordenadas de la Estación

```
TLSE_REC_COOR=[4627851.7870, 119640.0944, 4372993.6063];
```

```
Rec_stim_XYZ=TLSE_REC_COOR;
```

% Esta función calcula la LATITUD.LONGITUD Y ELEVACION. Desde las coordenadas ECEF de la estación

```
Rec_stim_LLA=xyz_2_lls(Rec_stim_XYZ);
```

Aplicación de la Técnica de Suavizado

```
clc  
clear all
```

%% Crear las estructuras en el programa de Matlab

% Septentrio\_Project;Lectura de los Archivos RINEX de Observación y Navegación

% Se abre todas las variables del archivo rcx\_info

load Rcx\_info\_29.mat;

% Lectura del RINEX de Navegación y obtención de sus efemérides

disp('Leyendo el Archivo RINEX de Navegacion...');

RINEXn = 'E:\PROGRA\_TESIS\_MATLAB\backup\SEPT0291.14N'; % Llamado del Archivo Rinex de Navegacion en la carpeta de ubicación

rinexe(RINEXn, 'eph.dat');

eph\_mtx = get\_eph('eph.dat');

%% Definir de las variables para la velocidad de la luz y las frecuencias L1 y L2

c=299792458; % Velocidad de la luz

f1=1.57542e9; % frecuencia de L1

f2=1.2276e9; % frecuencia de L2

wavelength1 = c/f1; % longitud de onda de L1

wavelength2 = c/f2; % longitud de onda de L2

%% Extraer los datos de la estructura Rcx\_info

epoch = Rcx\_info.t;

matrix\_collect = [];

for ind = 1:length(epoch)

    number\_sat= Rcx\_info.meas{ind,1}.satID; %% Satélite visible para cada época

    measurements = zeros(length(number\_sat),5);

    for idx= 1:length(number\_sat)

        %[sat\_XYZ, sat\_clk\_correction] = sat\_coordinates\_XYZ(eph\_mtx, number\_sat(idx),epoch(ind), Rcx\_info.meas{ind,1}.C1(idx),'L1', Rcx\_info.XYZ);

        measurements(idx,1) = number\_sat(idx);

        measurements(idx,2) = (Rcx\_info.meas{ind,1}.C1(idx));

        measurements(idx,3) = (Rcx\_info.meas{ind,1}.L1(idx)\*wavelength1);

        measurements(idx,4) = (Rcx\_info.meas{ind,1}.L2(idx)\*wavelength2);

        measurements(idx,5) = Rcx\_info.meas{ind,1}.C2(idx);

        %measurements(idx,6) = (Rcx\_info.meas{ind,1}.C1(idx))+ sat\_clk\_correction;

        %[sat\_XYZ, sat\_clk\_correction] = sat\_coordinates\_XYZ(eph\_mtx, number\_sat(idx),epoch(ind), Rcx\_info.meas{ind,1}.L1(idx),'L1', Rcx\_info.XYZ);

        %measurements(idx,7) = (Rcx\_info.meas{ind,1}.L1(idx)\*wavelength1) + sat\_clk\_correction;

        %measurements(idx,8) = (Rcx\_info.meas{ind,1}.L2(idx)\*wavelength2) + sat\_clk\_correction;



```

    %[sat_XYZ, sat_clk_correction] = sat_coordinates_XYZ(eph_mtx,
number_sat(idx),epoch(ind), Rcx_info.meas{ind,1}.C2(idx),'L1', Rcx_info.XYZ);
    %measurements(idx,9) = Rcx_info.meas{ind,1}.C2(idx) + sat_clk_correction;
end; clear idx
time(1:length(number_sat))=epoch(ind);
C11=[time',measurements];
matrix_collect = [matrix_collect ; C11]; % Llenar la matriz con las mediciones de C1, C2,
L1, L2
time=[];
end; clear ind

```

%% Matriz de Clasificación

%Matriz llena con la posición de cada satélite visible para la época

```

sat_visible = unique(matrix_collect(:,2)); % Todos los satélites visibles de datos
matrix_pos=NaN(length(epoch),length(sat_visible)); % Posición de los satélites en la matriz
matrix_collect
a=0;
for i=1:length(sat_visible)
    pos_num_sat=find(matrix_collect(:,2)==sat_visible(i)); % Función que permite encontrar la
posición de cada satélite en la matriz matrix_collect
    for ind=1:length(epoch)
        number_sat= Rcx_info.meas{ind,1}.satID; %% Satélites visibles para cada época
        l=length(number_sat); % Longitud del número de satélites de cada época
        b=find(matrix_collect(a+1:l+a,2)==sat_visible(i));
        if isempty(b)
            matrix_pos(ind,i)=NaN;
        else
            matrix_pos(ind,i)=a+b;
        end
        a=a+l;
    end
    a=0;
end % Final del for y la matriz de ordenación

```

%% Suavizado Simple para el Filtro de Hatch

```

tao=5000; %Tiempo constante para el Filtro de Hatch
Rhat_sat=NaN(length(epoch),length(sat_visible)); %crear el RHAT suavizado
%Rhat_sat_c=NaN(length(epoch),length(sat_visible));
% Rhat_sat(1,:)=sat_visible;
% Rhat_sat_c(1,:)=sat_visible;
for i=1:length(sat_visible) % Ir por cada satélite para ver los que están visibles
    flag=0;
    c=1;
    for ind=1:length(epoch) % Ir por cada época y almacenar en la matriz de Rhat

```

```

if isnan(matrix_pos(ind,i))
    flag=0;
else
    if flag == 0
        Rhat_sat(ind,i)=matrix_collect(matrix_pos(ind,i),3); % Inicializar cuando encuentre el
primer valor
        %Rhat_sat_c(ind,i)=matrix_collect(matrix_pos(ind,i),7);
        flag=1; %% Es una bandera que permite saber cuándo se debe empezar el cálculo del filtro
        c=1; % Contador del filtro Suavizado
    else
        if c < tao
            n=c;
        else
            n=tao;
        end
        % Rhat_sat es la salida del Filtro Suavizado
        Rhat_sat(ind,i)=((1/n)*matrix_collect(matrix_pos(ind,i),3))+(((n-1)/n)*(Rhat_sat(ind-
1,i)+(matrix_collect(matrix_pos(ind,i),4)-matrix_collect(matrix_pos(ind-1,i),4))));
    end
end
c=c+1;
end %% Final del for de la época
end %% Final de for de la matriz sat_visble

```

%% Antes de los Plots

```

xhat=NaN(length(epoch),length(sat_visible)); %% medida geométrica libre de smoo
x_s=NaN(length(epoch),length(sat_visible)); %% medida geométrica libre de unsmoo
xhat_div=NaN(length(epoch),length(sat_visible)); %% medida geométrica libre de smoo div
x_div=NaN(length(epoch),length(sat_visible)); %% medida geométrica libre de unsmoo
for i=1:length(sat_visible)
    for j=1:length(epoch)
        if ~isnan(Rhat_sat(j,i))

            %% Salida suavizada de Rhat
            %% geometric free measurment smooth

            xhat(j,i)= Rhat_sat(j,i) - matrix_collect(matrix_pos(j,i),4);
            %xhat_div(j,i)= Rhat_sat_div(j,i) - input_phase_div(j,i);
            xhat_div(j,i)= Rhat_sat_div(j,i) - matrix_collect(matrix_pos(j,i),4);
            %%geometric free measurment unsmooth
            x_s(j,i)= matrix_collect(matrix_pos(j,i),3) - matrix_collect(matrix_pos(j,i),4);
            %x_div(j,i)= matrix_collect(matrix_pos(j,i),3) - matrix_collect(matrix_pos(j,i),4);
            x_div(j,i)= matrix_collect(matrix_pos(j,i),3) - matrix_collect(matrix_pos(j,i),4);
        end
    end
end
end

```

```
%% Plots
```

```
% Gráficos del Satélite
```

```
for i=1:length(sat_visible)
```

```
    figure('Name','Satellite','NumberTitle','on')
```

```
    hold all;
```

```
    plot(1:length(epoch),x_s(:,i),'g','LineWidth',2); %%Original
```

```
    plot(1:length(epoch),xhat(:,i),'r','LineWidth',2); %%Suavizado
```

```
% plot(1:length(epoch),xhat_div(:,i),'b','LineWidth',2);
```

```
    title('Gráfico de la Señal CMC Original y CMC Suavizado');
```

```
    ylabel('CMC [m]);
```

```
    xlabel('Época [s]);
```

```
    h = legend('CMC-Original','CMC-Suavizado',3,'Location','Best');
```

```
    set(h,'Interpreter','none');
```

```
    grid on;
```

```
end
```